

Capa



## Efeito da acção sísmica numa estrutura de betão armado corrente: distribuição de esforços e custo da estrutura

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em  
Engenharia Civil-Especialização em Construção Urbana

Autor

Eng. José Carlos Perestrelo Ferreira

Orientadores

Prof. Mestre Paulo Maranhã Nunes Tiago

Prof. Doutor Ricardo Nuno Francisco do Carmo

Instituição

Instituto Politécnico de Coimbra

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Coimbra, Outubro de 2016



## AGRADECIMENTOS

Ao terminar esta Dissertação de Mestrado resta-me registar os sinceros agradecimentos às individualidades que de várias formas contribuíram para que esta se tornasse numa realidade.

Aos Professores Mestre Paulo Maranha Nunes Tiago e Doutor Ricardo Nuno Francisco do Carmo, orientadores da Dissertação de Mestrado, por toda a dedicação, compreensão e amizade demonstradas, pelos inúmeros ensinamentos recebidos, sugestões preciosas, colaboração prestada e pelo estímulo e exigência crescentes que foram impondo à medida que este trabalho caminhava para o seu término.

À “Autodesk, Inc.” (ADSK), pelo inestimável contributo prestado nesta investigação, tendo sido fundamental na prossecução do trabalho, ao ceder-me gratuitamente o programa de cálculo estrutural “Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2016”.

À minha família, amigos e colegas, pelo apoio, pelas oportunas manifestações de companheirismo, pelo incentivo e afecto demonstrados ao longo do período da realização desta dissertação.

A todos o meu profundo agradecimento.



## RESUMO

Na presente dissertação realizou-se uma análise de custos e de esforços de um edifício de betão armado quando sujeito à acção sísmica. O objectivo foi realizar um estudo comparativo de custos e de esforços numa estrutura corrente de betão armado quando a mesma se encontra localizada em diferentes locais, assim como construída em terrenos de diferentes tipos. Estes dois factores são determinantes para o cálculo da acção sísmica afectando, consequentemente, o valor dos esforços aplicados na estrutura e o seu custo.

Para cumprir este objectivo foi utilizada uma estrutura simples, com regularidade em planta e em altura. O sistema estrutural utilizado foi do tipo porticado, com sete pisos acima do nível do solo e nenhum abaixo do mesmo.

Para a obtenção dos esforços na estrutura e posterior dimensionamento foi utilizado o “software” de cálculo estrutural “Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2016”. A quantificação da acção sísmica foi realizada considerando uma análise modal por espectro de resposta. Os deslocamentos e esforços foram determinados pelo método dos elementos finitos. As lajes foram modeladas com o comportamento de membrana associado a comportamento de flexão/torção (elemento do tipo casca fina, “Shell”). Os pilares e as vigas formam um conjunto tridimensional de pórticos. A ligação pilar/fundação foi considerada como um encastramento.

Na análise comparativa de esforços, foram utilizados os seguintes elementos: uma laje/painel do 1º piso, uma viga localizada no 1º piso, dois pilares estando um posicionado num canto da estrutura e, o outro, posicionado no interior da estrutura, bem assim como as suas fundações. No que concerne à análise comparativa de custos, os elementos tidos em consideração foram as lajes, as vigas, os pilares e as fundações.

Os resultados provenientes dos diversos cálculos por localização e tipo de terreno da estrutura, no que respeita aos custos do betão armado e aos esforços estruturais, foram comparados entre si, as diferenças foram analisadas e discutidas para se compreender melhor as razões dessas diferenças.

**Palavras-Chave:** betão armado; sismo; análise de esforços; análise de custos.





## ABSTRACT

In this dissertation was performed an analysis of costs and efforts in a reinforced concrete building subjected to seismic action. The aim was to carry out a comparative study of costs and efforts in a usual structure of concrete when it is located at different sites, as well as constructed on different types of soils. These two factors are very important to compute the seismic action and, consequently, affect the efforts and costs of the structure.

To fulfill this purpose, a simple structure with vertical and horizontal regularity was used. The structural system used was a three dimensional frame, with seven floors above ground level, and none below it.

The structural analysis as well the design of the all members was performed with the software Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2016. The seismic action was computed considering a modal analysis and the response spectrum. The stresses and displacements were determined by the finite element method. The slabs were considered as a membrane with a behavior associated to flexure and torsion (type element, Shell). The columns and beams were analyzed as a three-dimensional frame system. The connections between columns and foundations were considered totally constraint.

In the comparative analysis of efforts was used the following members: one panel slab on the 1<sup>st</sup> floor, a beam located on the 1<sup>st</sup> floor, two columns (one located in the corner of the structure and, the other, inside the structure), and its foundations.

Regarding the comparative cost analysis, the factors taken into account were slabs, beams, columns and foundations.

The results of costs and efforts from the several calculations, where the location and the type of soil was changed, were compared, the differences were also analyzed and discussed in order to better understanding the reasons of their causes.

**Keywords:** reinforced concrete; earthquake; cost analysis; efforts analysis.



# ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b>	i
<b>RESUMO</b>	ii
<b>ABSTRACT</b>	iii
<b>ÍNDICE GERAL</b>	iv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objectivos e metodologia	2
1.3. Organização da tese	3
2. ACÇÃO SÍSMICA: SISMOS E SISMOLOGIA	5
2.1. Introdução	5
2.2. O risco de catástrofes	6
2.3. Catástrofes sísmicas na Europa	6
2.3.1. Os avanços na redução e gestão do risco de catástrofes na Europa	8
2.3.2. As opções de gestão Europeia para reduzir os impactos provocados por sismos	9
2.4. Catástrofes sísmicas em Portugal	9
2.4.1. Os avanços na redução e gestão do risco de catástrofes em Portugal	11
2.4.2. As opções de gestão Portuguesa para reduzir os impactos provocados por sismos	12
2.5. Regulamentos de Segurança Estrutural em Infra-Estruturas e Edifícios	13
2.5.1. Eurocódigo NP EN 1998-1	13
<i>Normas portuguesas para a concepção de edifícios em betão armado</i>	13
<i>Eurocódigo 8 – Projecto de estruturas para resistência ao sismo</i>	13
<i>Objectivos do projecto sísmico, de acordo com o Eurocódigo 8, em caso de sismo</i>	14
<i>Requisitos de desempenho</i>	14
<i>Diferenciação de confiabilidade</i>	14
<i>Critérios de conformidade (Estados limites últimos (ELU))</i>	15
<i>Verificações de projecto</i>	16
<i>Parâmetros determinados a nível nacional</i>	17
2.5.2. Comparação da NP EN 1998-1 com RSA / REBAP	17
<i>Exigências de desempenho</i>	17
<i>Regras de dimensionamento</i>	17
<i>Classes de ductilidade</i>	20
<i>Tipos de estruturas e coeficiente de comportamento</i>	21
<i>Análise estrutural</i>	21
<i>Métodos de análise</i>	21
<i>Definição da acção sísmica</i>	23
3. UM CASO DE ESTUDO: ESTRUTURA EM BETÃO ARMADO. PROGRAMA DE CÁLCULO ESTRUTURAL “ROBOT”	25
3.1. Descrição da estrutura do edifício	25
<i>Pormenorização construtiva</i>	25
<i>Materiais estruturais</i>	26
3.2. Descrição do “software” de cálculo	27
<i>Demonstração de algumas funcionalidades do “Autodesk Robot Structural Analysis”</i>	27
<i>Teste preliminar do programa utilizado</i>	31
4. MODELAÇÃO DA ESTRUTURA CORRENTE EM BETÃO ARMADO E QUANTIFICAÇÃO DA ACÇÃO SÍSMICA	33

4.1	Casos de estudo considerados para avaliar a variação do efeito da acção sísmica	33
4.2.	Análise de projecto da edificação pela NP EN 1998-1	34
4.2.1.	Determinação do coeficiente de importância ( $\gamma_I$ )	34
4.2.2.	Determinação da sismicidade zonal	34
4.2.3.	Determinação do coeficiente de comportamento	35
	<i>Coeficiente de comportamento para as acções sísmicas horizontais</i>	35
	<i>Coeficiente de comportamento para as acções sísmicas verticais</i>	36
4.2.4	Acção sísmica: definição do espectro de resposta elástica	36
	<i>Zonas sísmicas</i>	36
	<i>Resposta elástica horizontal</i>	36
	<i>Resposta elástica vertical</i>	37
4.2.5.	Utilização do método de análise modal por espectro de resposta	38
	<i>Critérios de regularidade estrutural</i>	38
	<i>Métodos de análise estrutural</i>	38
4.2.6.	Combinação dos efeitos das componentes da acção sísmica	39
	<i>Inércia da acção sísmica de cálculo</i>	39
	<i>Componentes horizontais da acção sísmica</i>	40
	<i>Componentes verticais da acção sísmica</i>	40
4.2.7.	Valores dos carregamentos	41
4.2.8.	Pressupostos no dimensionamento das fundações superficiais	41
5.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	43
5.1.	Identificação dos elementos estruturais analisados	43
5.2.	Análise de esforços	44
5.2.1.	Análise de esforços na laje	44
5.2.2.	Análise de esforços na viga	46
5.2.3.	Análise de esforços nos pilares “1” e “2”	47
5.2.4.	Análise de esforços de duas fundações superficiais	52
5.3.	Análise das quantidades de materiais e de custo da estrutura	54
5.3.1.	Preços do betão pronto ( $m^3$ ) e do aço (kg)	54
5.3.2.	Análise das quantidades dos materiais e dos custos das lajes, por piso	54
5.3.3.	Análise das quantidades dos materiais e dos custos das vigas, por piso	57
5.3.4.	Análise das quantidades dos materiais e dos custos dos pilares, por piso	59
5.3.5.	Análise das quantidades dos materiais e dos custos das sapatas	62
5.3.6.	Análise das quantidades e dos custos, por piso	64
5.3.7.	Análise das quantidades e dos custos, por elemento estrutural	66
5.3.8.	Análise das quantidades dos materiais e dos custos	69
6.	CONCLUSÕES	71

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>75</b>
-----------------------------------	-----------

## ANEXOS

<b>Anexo I</b>	<b>Teste preliminar do programa utilizado</b>	<b>79</b>
<b>Anexo II</b>	<b>Valores dos carregamentos de cálculo</b>	<b>85</b>

<b>Anexo III</b>	<b>Resultados de esforços</b>	
	Resultados de esforços na laje	89
	Resultados de esforços na viga	90
	Resultados de esforços no pilar”1”	93
	Resultados de esforços no pilar”2”	96
	Resultados de esforços nas sapatas	100
<b>Anexo IV</b>	<b>Resultados de quantidades de materiais</b>	
	Quantidades de materiais nas lajes	103
	Quantidades de materiais nas vigas	103
	Quantidades de materiais nos pilares	104
	Quantidades de materiais nas sapatas	104
	Quantidades totais de materiais por piso	105
	Quantidades totais de materiais	106
<b>Anexo V</b>	<b>Resultados económicos</b>	
	Custo total com lajes	107
	Custo total com vigas	107
	Custo total com pilares	108
	Custo total com sapatas	109
	Custos totais por piso	109
	Custos totais	111

## ÍNDICE DAS FIGURAS

Fig. 2.1.a)	Imagem do sismo em “Izmit”	5
Fig. 2.1.b)	Imagem do sismo em “L’Águila”	5
Fig. 2.2.a)	Localização das placas tectónicas	7
Fig. 2.2.b)	Modelo do risco sísmico para a região Europa-Mediterrâneo	7
Fig. 2.3.	Ciclo da gestão integrada do risco	8
Fig. 2.4.a)	Carta geológica de Portugal Continental	10
Fig. 2.4.b)	Sistema de falhas no território nacional	10
Fig. 2.5.	Factor de importância, $\gamma_1$	15
Fig. 2.6.a)	Zonamento sísmico nacional, segundo o anexo nacional, pela NP EN 1998-1	18
Fig. 2.6.b)	Zonamento sísmico nacional, segundo o RSA	18
Fig. 2.7.a)	Distribuição das forças estáticas ao nível dos pisos	22
Fig. 2.7.b)	Espectro de resposta de aceleração	22
Fig. 3.1.a)	Representação esquemática das plantas	23
Fig. 3.1.b)	Representação esquemática dos cortes	23
Fig. 3.2.a)	Representação esquemática dos pormenores construtivos das lajes e varandas	23
Fig. 3.2.b)	Representação esquemática dos pormenores construtivos das paredes exteriores	26
Fig. 3.2.c)	Representação esquemática dos pormenores construtivos das paredes dos acessos elevatórios	26
Fig. 3.2.d)	Representação esquemática dos pormenores construtivos das paredes interiores	26
Fig. 3.3.a)	Representação esquemática dos pormenores construtivos das escadas (corte )	26
Fig. 3.3.b)	Representação esquemática das escadas (planta)	26
Fig. 3.4.a)	Imagem do ambiente de trabalho do “software” de cálculo estrutural “ROBOT” e visualização do exposto no 1º passo de algoritmo da utilização do “software”	28
Fig. 3.4.b)	Imagem do exposto nos 2º e 3º passos do algoritmo da utilização do “software”	28
Fig. 3.4.c)	Imagem do exposto no 4º passo do algoritmo da utilização do “software”	29

Fig. 3.4.d)	Imagem do exposto nos 5º e 6º passos do algoritmo da utilização do “software”	29
Fig. 3.4.e)	Imagem do exposto no 7º passo do algoritmo da utilização do “software”	30
Fig. 3.4.f)	Imagem do exposto no 8º passo do algoritmo da utilização do “software”	30
Fig. 3.4.g)	Imagem do exposto nos 9º e 10º passos do algoritmo da utilização do “software”	31
Fig. 4.1.	Localização geográfica das localidades em estudo	34
Fig. 5.1.a)	Localização dos elementos estruturais em análise de esforços	43
Fig. 5.1.b)	Vista geral da estrutura em estudo e localização dos elementos estruturais em análise de esforços	43
Fig. 5.2.	Esquema representativo da numeração dos nós em estudo na laje	44
Fig. 5.3.a)	Envolvente dos momentos (xx) na laje	45
Fig. 5.3.b)	Envolvente dos momentos (yy) na laje	45
Fig. 5.4.	Envolvente das flechas (zz) na laje	45
Fig. 5.5.	Envolvente do esforço transversal (zz) na viga	46
Fig. 5.6.	Envolvente dos momentos (yy) na viga	46
Fig. 5.7.	Envolvente das flechas (zz) na viga	47
Fig. 5.8.a)	Máximo dos valores absolutos da envolvente do esforço axial no pilar “1”	48
Fig. 5.8.b)	Máximo dos valores absolutos da envolvente do esforço axial no pilar “2”	48
Fig. 5.9.a)	Máximo dos valores absolutos da envolvente do esforço transversal (yy) no pilar “1”	48
Fig. 5.9.b)	Máximo dos valores absolutos da envolvente do esforço transversal (yy) no pilar “2”	48
Fig. 5.9.c)	Máximo dos valores absolutos da envolvente do esforço transversal (zz) no pilar “1”	49
Fig. 5.9.d)	Máximo dos valores absolutos da envolvente do esforço transversal (zz) no pilar “2”	49
Fig. 5.10.a)	Máximo dos valores absolutos da envolvente dos momentos (yy) no pilar “1”	49
Fig. 5.10.b)	Máximo dos valores absolutos da envolvente dos momentos (yy) no pilar “2”	49
Fig. 5.10.c)	Máximo dos valores absolutos da envolvente dos momentos (zz) no pilar “1”	50
Fig. 5.10.d)	Máximo dos valores absolutos da envolvente dos momentos (zz) no pilar “2”	50
Fig. 5.11.a)	Máximo dos valores absolutos da envolvente dos deslocamentos (xx) no pilar “1”	50
Fig. 5.11.b)	Máximo dos valores absolutos da envolvente dos deslocamentos (xx) no pilar “2”	50
Fig. 5.11.c)	Máximo dos valores absolutos da envolvente dos deslocamentos (yy) no pilar “1”	51
Fig. 5.11.d)	Máximo dos valores absolutos da envolvente dos deslocamentos (yy) no pilar “2”	51
Fig. 5.12.	Envolvente do esforço axial nas duas fundações superficiais	52
Fig. 5.13.a)	Envolvente do esforço transversal (xx) nas duas fundações superficiais	53
Fig. 5.13.b)	Envolvente do esforço transversal (yy) nas duas fundações superficiais	53
Fig. 5.14.a)	Envolvente dos momentos (xx) nas duas fundações superficiais	53
Fig. 5.14.b)	Envolvente dos momentos (yy) nas duas fundações superficiais	53
Fig. 5.15.a)	Preço do betão por classe (m3)	54
Fig. 5.15.b)	Preço do aço por diâmetro (kg)	54
Fig. 5.16.a)	Quantidade de betão na laje do piso/Quantidade total de betão nas lajes (%)	55
Fig. 5.16.b)	Quantidade de betão nas lajes (m3)	55
Fig. 5.16.c)	Quantidade de aço na laje do piso/Quantidade total de aço nas lajes (%)	55
Fig. 5.16.d)	Quantidade de aço nas lajes (kg)	55
Fig. 5.16.e)	Custo da laje do piso/Custo total das lajes (%)	56
Fig. 5.16.f)	Custo da laje do piso/Custo total das lajes (€)	56
Fig. 5.17.a)	Quantidade de betão nas vigas do piso/Quantidade total de betão nas vigas (%)	57
Fig. 5.17.b)	Quantidade de betão nas vigas (m3)	57
Fig. 5.17.c)	Quantidade de aço nas vigas do piso/Quantidade total de betão nas vigas (%)	58
Fig. 5.17.d)	Quantidade de aço nas vigas (kg)	58

Fig. 5.17.e)	Custo das vigas do piso/Custo total das vigas (%)	58
Fig. 5.17.f)	Custo das vigas do piso/Custo total das vigas (€)	58
Fig. 5.18.a)	Quantidade de betão nos pilares do piso/Quantidade total de betão nos pilares (%)	60
Fig. 5.18.b)	Quantidade de betão nos pilares (m3)	60
Fig. 5.18.c)	Quantidade de aço nos pilares do piso/Quantidade total de betão nos pilares (%)	60
Fig. 5.18.d)	Quantidade de aço nos pilares (kg)	60
Fig. 5.18.e)	Custo dos pilares do piso/Custo total dos pilares (%)	61
Fig. 5.18.f)	Custo dos pilares do piso/Custo total dos pilares (€)	61
Fig. 5.19.a)	Quantidade de betão nas sapatas (m3)	63
Fig. 5.19.b)	Quantidade de aço nas sapatas (kg)	63
Fig. 5.19.c)	Custo total com as sapatas (€)	63
Fig. 5.20.a)	Quantidade de betão no piso/Betão total (%)	64
Fig. 5.20.b)	Quantidade de betão no piso/Betão total (m3)	64
Fig. 5.20.c)	Quantidade de aço no piso/Aço total (%)	65
Fig. 5.20.d)	Quantidade de aço no piso/Aço total (kg)	65
Fig. 5.20.e)	Custo do piso/Custo total (%)	65
Fig. 5.20.f)	Custo do piso/Custo total (€)	65
Fig. 5.21.a)	Quantidade de betão por tipo de elemento estrutural/Quantidade total de betão (%)	68
Fig. 5.21.b)	Quantidade de betão por tipo de elemento estrutural (m3)	68
Fig. 5.21.c)	Quantidade de aço por tipo de elemento estrutural /Quantidade total de aço (%)	68
Fig. 5.21.d)	Quantidade de aço por tipo de elemento estrutural (kg)	68
Fig. 5.21.e)	Custo dos elementos estruturais/Custo total (%)	68
Fig. 5.21.f)	Custo dos elementos estruturais/Custo total (€)	68
Fig. A.1.1.a)	Planta e numeração dos nós da laje de teste preliminar de resultados	79
Fig. A.1.1.b)	Corte A-A' e numeração dos nós no pórtico de teste preliminar	79
Fig. A. 1.2.	Esquema figurativo da “Tabela 10 de Barès” para determinação dos momentos flectores na laje	80
Fig. A.1.3.a)	Momentos flectores na direcção xx , usando o “ROBOT”	81
Fig. A.1.3.b)	Momentos flectores na direcção yy , usando o “ROBOT”	81
Fig. A.1.4.a)	Esquema do tipo de apoio e consequentes linhas de ruptura na laje	82
Fig. A.1.4.b)	Desenho esquemático das cargas gravíticas actuantes no pórtico para teste preliminar	82
Fig. A.1.5.a)	Resultados gráficos dos momentos flectores locais no pórtico , determinados pelo “FTOOL”	83
Fig. A.1.5.b)	Resultados gráficos dos momentos flectores locais no pórtico , determinados pelo “ROBOT”	83

## ÍNDICE DOS QUADROS

Quadro 2.1.	Consequências dos eventos naturais ocorridos na Europa entre 1998 e 2009	5
Quadro 2.2.	Lista dos sismos mais destrutivos em todo o mundo, com mais de 50000 mortes	6
Quadro 2.3.	“Escala de Richter” : Magnitude, efeitos, e frequência da ocorrência de sismos	7
Quadro 2.4.	Lista da sismicidade em Portugal Continental	10
Quadro 2.5.a)	Classificação dos solos segundo a NP EN 1998-1	18
Quadro 2.5.b)	Classificação dos solos segundo o RSA	18
Quadro 2.6.	Classes de importância para edifícios	20
Quadro 2.7.a)	Valores do parâmetro $q_0$ para vários tipos de estruturas de edifícios regulares em altura, pela NP EN 1998-1	21

Quadro 2.7.b)	Valores do parâmetro $q_0$ para vários tipos de estruturas pelo RSA	21
Quadro 2.8.	Tipo de análise sísmica permitida na NP EN 1998-1	21
Quadro 2.9.	Métodos de análise descritos na NP EN 1998-1	21
Quadro 2.10.	Requisitos da NP EN 1998-1/REBAP relativamente aos materiais que compõem o betão armado	23
Quadro 3.1.	Características mecânicas do betão de classe C 30/37	24
Quadro 3.2.	Características mecânicas do aço de classe A 500 NR SD	27
Quadro 4.1.	Determinação da sismicidade zonal para os locais e tipos de terreno em estudo	34
Quadro 4.2.	Zonamento sísmico para a acção sísmica do tipo I e II e respectiva aceleração máxima de referência à superfície do terreno	34
Quadro 4.3.a)	Valores dos parâmetros definidores do espectro de resposta para a acção sísmica do Tipo 1	37
Quadro 4.3.b)	Valores dos parâmetros definidores do espectro de resposta para a acção sísmica do Tipo 2	37
Quadro 4.4.a)	Valores de cálculo da resposta elástica horizontal para uma acção sísmica do tipo 1	37
Quadro 4.4.b)	Valores de cálculo da resposta elástica horizontal para uma acção sísmica do tipo 2	37
Quadro 4.5.	Parâmetros de cálculo da resposta elástica vertical para uma acção sísmica do tipo 1 e do tipo 2	38
Quadro 4.6.	Valores de cálculo da resposta elástica vertical para uma acção sísmica do tipo 1 e do tipo 2	38
Quadro 4.7.	Consequências da regularidade estrutural na análise e no cálculo sísmico	38
Quadro 4.8.	Resultados da análise modal por espectro de resposta das estruturas	39
Quadro 4.9.	Valores de $\phi$ para calcular $\psi_{Ei}$	39
Quadro 4.10.	Combinações de acções de cálculo	41
Quadro 4.11.	Coefficientes de carga para cada uma das resistências globais dos solos	42
Quadro 5.1.	Dimensões das sapatas	51
Quadro 5.2.	Quadro síntese da análise das quantidades dos materiais e dos custos das lajes, por piso	56
Quadro 5.3.	Variação entre a estrutura de referência e o caso de estudo mais gravoso, nas quantidades dos materiais e nos custos das lajes, por piso	56
Quadro 5.4.	Quadro síntese da análise das quantidades dos materiais e dos custos das vigas, por piso	58
Quadro 5.5.	Variação entre a estrutura de referência e o caso de estudo mais gravoso, nas quantidades dos materiais e dos custos das vigas, por piso	59
Quadro 5.6.	Quadro síntese da análise das quantidades dos materiais e nos custos dos pilares, por piso	61
Quadro 5.7.	Variação entre a estrutura de referência e o caso de estudo mais gravoso, nas quantidades dos materiais e nos custos dos pilares, por piso	61
Quadro 5.8.	Quadro síntese da análise das quantidades dos materiais e dos custos das sapatas	63
Quadro 5.9.	Quadro síntese da análise das quantidades dos materiais e dos custos, por piso	65
Quadro 5.10.	Variação entre a estrutura de referência e o caso de estudo mais gravoso, nas quantidades dos materiais e nos custos, por piso	66
Quadro 5.11.	Quadro síntese da análise das quantidades dos materiais e dos custos, por tipo de elemento estrutural	69
Quadro 5.12.	Variação entre a estrutura de referência e o caso de estudo mais gravoso, nas quantidades dos materiais e nos custos, por tipo de elemento estrutural	69
Quadro 5.13.a)	Variação das quantidades dos materiais e dos custos entre a estrutura_ terreno do tipo A e os casos de estudo_ terreno do tipo A, por tipo de elemento estrutural	70



Quadro 5.13.b)	Variação das quantidades dos materiais e dos custos entre a estrutura_ terreno do tipo D e os casos de estudo_ terreno do tipo D, por tipo de elemento estrutural	70
Quadro 6.1.	Possibilidades de aceleração sísmica em Portugal , previstos na NP EN 1998-1	74
Quadro 6.2.	Tipos de terreno previstos na NP EN 1998-1	74
Quadro A. 1.1.	Variação dos momentos flectores na laje, por comparação de resolução entre “ <i>Tabelas de Barès</i> ” e o “ <i>software</i> ” de cálculo estrutural “ <i>Autodesk Robot</i> “	81
Quadro A. 1.2.	Variação dos momentos flectores no pórtico , por comparação de resolução entre o “ <i>software</i> ” de cálculo estrutural bidimensional “ <i>FTOOL</i> ” e o “ <i>software</i> ” de cálculo estrutural “ <i>Autodesk Robot</i> “	83
Quadro A. 2.1.	Valor do carregamento permanente nas escadas	85
Quadro A. 2.2.	Valor do carregamento permanente não estrutural a aplicar nas lajes	86
Quadro A. 2.3.	Valor do carregamento permanente não estrutural a aplicar nas varandas	87
Quadro A. 2.4.	Valor do carregamento permanente não estrutural a aplicar nas vigas exteriores	87
Quadro A. 2.5.	Valor do carregamento permanente não estrutural a aplicar nas vigas das paredes dos poços elevatórios	87



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento

Para enquadrar o propósito desta dissertação é necessário, inicialmente, fazer um paralelismo entre o tipo de material mais usado na construção civil nos dias que correm, o betão armado, e um tipo de catástrofe que mais danos provoca nas construções, o sismo. O betão é utilizado há milhares de anos, sobretudo em pavimentos e fundações. Os romanos usaram o “betão” (inicialmente uma massa ligante) em pontes, aquedutos e edifícios públicos. Posteriormente e até ao séc. XVIII este material foi utilizado de uma forma pontual, em particular em fundações ou no interior das paredes. Os estudos das propriedades do cimento culminaram na aprovação da patente do cimento “*Portland*” em 1824. Numa fase posterior a este avanço tecnológico conseguiu-se reduzir o custo de produção do cimento, contribuindo assim para o seu uso mais generalizado na construção.

As primeiras obras em betão armado surgem em França e nos EUA, na segunda metade do séc. XIX. Em Portugal, a indústria do cimento inicia-se em 1894 com a fábrica de cimento Tejo, em Alhandra. Dado tratar-se de um material relativamente recente, no início só era utilizado em pontes e na arquitectura industrial. O princípio do séc. XX é caracterizado pelo aumento generalizado da utilização do betão armado. Inúmeras patentes e documentos técnicos definem as bases de cálculo e as disposições construtivas a adoptar nos diversos elementos estruturais [1].

Os sismos são fenómenos geológicos imprevisíveis quanto à localização e quanto ao momento em que ocorrem. Estes fenómenos são passíveis de provocar grandes danos a nível das estruturas e infra-estruturas, sendo portanto um factor preponderante a ter em conta no dimensionamento das estruturas. A modelação precisa do comportamento real de uma estrutura perante a ocorrência de um sismo é quase impossível de atingir, pois a intensidade do evento é aleatória e há duas realidades físicas diferentes: uma de natureza gravítica, a construção, e a outra de natureza mecânica, o sismo. Em meados do séc. XX, os governos começaram a emitir um conjunto de normas para considerar o efeito dos sismos nas construções. Nessas normas são definidas regras não só sobre a quantificação da acção sísmica mas também regras relativas as disposições construtivas necessárias para assegurar um bom comportamento da estrutura.

Mais recentemente e a nível europeu foi lançada a “*European Normalization*” (EN) em 1998: Eurocódigo 8: Projecto de estruturas para resistência aos sismos, cujo campo de aplicação é o seguinte:

“O Eurocódigo 8 aplica-se ao projecto e à construção de edifícios e de outras obras de engenharia civil em regiões sísmicas. Tem por finalidade assegurar, em caso de ocorrência de sismos, que:

- as vidas humanas são protegidas;
- os danos são limitados; e
- as estruturas importantes para a protecção civil se mantêm operacionais.”

A localização geográfica da estrutura, bem como o tipo de terreno onde é construída são dois dos factores preponderantes na quantificação da acção sísmica e que, consequentemente, afectam de forma significativa os esforços impostos à estrutura. Portanto, é importante que o engenheiro aumente a sua sensibilidade quanto ao efeito destes dois factores fundamentais sem se preocupar com uma análise muito sofisticada.

Neste contexto considerou-se pertinente analisar uma estrutura corrente em betão armado, localizá-la geograficamente em diferentes regiões de Portugal, considerar que está assente em diferentes tipos de terreno e, finalmente, comparar os resultados obtidos nos vários casos. Para tornar este estudo mais válido, analisou-se e justificou-se as possíveis causas para as

diferenças e semelhanças. Neste documento procurou-se apresentar a informação de forma sistematizada para permitir uma boa compreensão de todas as variáveis relacionadas com este assunto. Resumidamente, julga-se que esta dissertação pode, eventualmente, melhorar a sensibilidade e interesse dos jovens engenheiros para os problemas da análise sísmica e pode ser uma base de reflexão para esta temática, aumentando, nomeadamente, a consciência sobre a importância dos sismos nas construções.

## 1.2.Objectivos e Metodologia

O objectivo principal desta dissertação é realizar um estudo comparativo de uma estrutura em betão armado sujeita à acção sísmica. Nesta análise comparativa serão analisados esforços nalguns elementos estruturais e, ainda, o custo da estrutura. Pretende-se, portanto, analisar qual o impacto que a acção sísmica tem, tanto no comportamento, como no custo da estrutura. Os parâmetros que se pretendem analisar mais especificamente são os seguintes:

Quanto às deformações e esforços:

- No que respeita aos elementos estruturais, pretende-se analisar uma laje, uma viga, dois pilares, um dos quais exterior (canto) e o outro interior, e ainda as respectivas sapatas.
- No que respeita aos esforços e deformações, analisar-se-á o esforço axial, o esforço transversal, os momentos flectores, os deslocamentos e as flechas, dependendo onde seja mais significativo, segundo o elemento estrutural a analisar.

Quanto às quantidades :

- Pretende-se analisar a variação das quantidades de betão e aço com a consideração, ou não, da acção sísmica, e como é que essa variação se dá com a localização e tipo de terreno onde a estrutura é construída.
- A análise realizar-se-á por elemento estrutural, por piso, para toda a estrutura e para todos os casos em estudo.

Quanto aos custos :

- Pretende-se analisar a variação do custo da estrutura com a consideração, ou não, da acção sísmica, e como é que essa variação se dá com a localização e tipo de terreno onde a estrutura é construída.
- Esta análise realizar-se-á por elemento estrutural, por piso, para toda a estrutura e para todos os casos em estudo.

Para que os referidos objectivos sejam atingidos, definiram-se as seguintes etapas:

- Realização de uma pesquisa bibliográfica sobre o tema de modo a actualizar os conhecimentos;
- Estudar e aprender a utilizar o programa de cálculo “Autodesk Robot Structural Analysis”;
- Realizar as várias análises estruturais e proceder ao estudo comparativo;
- Organizar informação e escrever o documento final.

Para a realização do objectivo foi idealizada uma estrutura, a qual foi sujeita aos esforços gravíticos (peso próprio e sobrecargas da categoria A, utilizadas em edifícios de habitação e definidas na NP EN 1991-1-1:2009-Eurocódigo 1 – Acções em estruturas). Posteriormente conservaram-se duas estruturas sem localização geográfica, sujeitas unicamente às cargas verticais e construídas, uma em terreno A e, outra, em terreno D, sendo consideradas as estruturas de referência/comparação para estes tipos terreno na presente dissertação. Para cumprir a finalidade da presente dissertação (análise sísmica), estudou-se a estrutura para 10 casos diferentes : em cinco casos as estruturas foram construídas num terreno do tipo A e nos outros cinco casos num terreno do tipo D, tendo sido usadas cinco localizações geográficas diferentes, onde se localizaram duas estruturas: uma construída num terreno do tipo A e, outra construída num terreno do tipo D, procurando que estas localizações fossem as mais

representativas da variação de esforços sob o efeito da acção sísmica. É de ressaltar que a acção do vento não foi considerada. Estas estruturas foram modeladas no programa de cálculo estrutural “Autodesk Robot Structural Analysis”, com o qual calculou-se os esforços, dimensionou-se os elementos estruturais e posteriormente, determinou-se as quantidades necessárias dos materiais, as quais foram usadas para a análise de custos.

### 1.3 Organização da tese

Esta dissertação é composta por seis capítulos e cinco anexos.

No Capítulo 1 é feita uma introdução à análise estrutural de edifícios de betão armado quando sujeitos à acção sísmica, são apresentados os objectivos e é descrita, resumidamente, a organização da tese.

No Capítulo 2 é dedicado à sismologia e é introduzido o conceito de acção sísmica. Neste capítulo é também realizado um estudo comparativo, no que respeita a riscos, catástrofes, avanços na redução e gestão de riscos e opções na gestão da redução de impactos provocados por sismos, entre a Europa e Portugal. Ainda neste capítulo é realizada uma introdução à NP EN1998: Eurocódigo 8: Projecto de estruturas resistentes a sismos.

No Capítulo 3 é introduzido o caso de estudo, onde é descrito a arquitectura, a pormenorização construtiva, os materiais usados, e o tipo de estrutura utilizada, porticada e com planta regular. Neste capítulo é ainda descrito, o “software” de cálculo utilizado.

No Capítulo 4 é realizada a modelação do caso de estudo no “software” de cálculo já mencionado, após adaptação do modelo aos requisitos estruturais exigidos na NP EN1998: Eurocódigo 8.

Ao longo do Capítulo 5 é realizada uma análise dos resultados obtidos pelo “software” de cálculo estrutural, quer a nível de esforços em alguns elementos, a saber, uma laje do painel do 1º piso, uma viga do 1º piso, um pilar de canto e um pilar interior e duas fundações superficiais, quer a nível económico, quantidades de materiais e custo de toda estrutura.

No Capítulo 6 apresentam-se em resumo as conclusões que se julgam mais relevantes.

A dissertação é ainda composta por cinco anexos:

- No Anexo I, estão evidenciados todos os pressupostos do teste preliminar do “software” de cálculo estrutural “Autodesk Robot Structural Analysis”.
- No Anexo II estão descritos pormenorizadamente os valores dos carregamentos verticais de cálculo.
- No Anexo III estão apresentados detalhadamente os valores dos esforços devolvidos pelo “software” de cálculo estrutural “Autodesk Robot Structural Analysis”, no que respeita aos elementos estruturais em estudo.
- No Anexo IV estão descritas detalhadamente as quantidades dos materiais utilizados nas estruturas em estudo.
- No Anexo V estão descritos detalhadamente os cálculos relativos à análise económica das estruturas em estudo.



## 2. ACÇÃO SÍSMICA: SISMOS E SISMOLOGIA

### 2.1. Introdução

Os sismos<sup>1</sup>, tremores de terra ou terremotos (sismos catastróficos) constituem um fenómeno geológico que sempre aterrorizou as populações que vivem em determinadas zonas da Terra. Segundo a “*Emergency Events Database*” (EM-DAT), no período 1998-2009, ocorreram na Europa 46 sismos, que provocaram 18864 mortes humanas, 3978 mil pessoas afectadas, e que causaram perdas económicas totais (directas) no valor de 29205 mil milhões de Euros, incluindo 2189 mil milhões de Euros cobertos por seguros. Estes valores ocupam o segundo lugar em termos de fatalidades e o terceiro em termos de perdas globais, no que respeita às consequências causadas por eventos naturais [2], (ver Quadro 2.1).

Quadro 2.1 Consequências dos eventos naturais ocorridos na Europa entre 1998 e 2009

Tipo de evento	Nº de eventos registados	Número de mortes	Nº de pessoas afectadas (milhões de pessoas)	Perdas económicas totais (Bilhões de EURO)	Perdas totais dos seguros (Bilhões de EURO)
Tempestades	155	729	3,803	44,338	20,532
Eventos de temperaturas extremas	101	77551	0,005	9,962	0,186
Fogos florestais	35	191	0,163	6,917	0,097
Secas	8	0	0	0,005	0,000
Cheias	213	1126	3,145	52,173	12,331
Avalanches	8	130	0,01	0,742	0,198
Deslizamentos de terras	9	212	0,007	0,551	0,206
Actividade sísmica	46	18864	3,978	29,205	2,189
Actividade vulcânica	1	0	0	0,004	0,000
Total	576	98803	11,112	148,831	35,739

Ainda segundo o mesmo relatório, o evento que causou o maior número de mortes teve lugar em “*Izmit*” (Turquia) em agosto de 1999, onde se registaram mais de 17 000 pessoas mortas e perdas globais superiores a 11 mil milhões de euros. Outros eventos significativos incluem o terremoto em “*Düzce*” (Turquia), no mesmo ano, que resultou em cerca de 845 mortes, e o terremoto em “*L'Aquila*” (Itália, 2009), com 302 mortes e perdas totais de, pelo menos, 2 mil milhões de euros.



Fig. 2.1.a) Imagem do sismo em “*Izmit*” [3].



Fig. 2.1.b) Imagem do sismo em “*L'Áquila*” [4].

<sup>1</sup> Sismos, são abalos naturais da crosta terrestre que ocorrem num período de tempo restrito, em determinado local, e que se propagam em todas as direcções através de ondas sísmicas, dentro e à superfície da crosta terrestre, consequência da deformação da litosfera (estrato rígido), até atingir o seu limite de ruptura, quando submetida à acção contínua de forças (pressões e tensões), libertando bruscamente toda a energia que havia acumulado durante a sua deformação elástica [5].

## 2.2. O Risco<sup>2</sup> de catástrofes

Riscos e catástrofes podem resultar em vítimas humanas, perdas económicas assim como em degradação ambiental [6]. Os riscos e catástrofes mudam continuamente em termos dos seus impactos porque a natureza, tecnologia e sociedade estão também numa constante e dinâmica mudança [7]. De um modo geral, as catástrofes ocorrem normalmente quando existir vulnerabilidade perante o risco [8], e assim, a redução do potencial de um risco se tornar uma catástrofe depende, principalmente, da capacidade de uma sociedade abordar os factores de risco subjacentes, reduzir a vulnerabilidade<sup>3</sup> de uma comunidade e estar pronta para responder em caso de emergência [9].

## 2.3. Catástrofes sísmicas na Europa

Comparado com outros continentes (ver Quadro 2.2.), a maior parte da Europa tem uma baixa probabilidade para a ocorrência de grandes sismos.

Quadro 2.2. Lista dos sismos mais destrutivos em todo o mundo, com mais de 50000 mortes[10].

Data	Localização	Mortos	Magnitude
Janeiro 23, 1556	China, Shansi	830000,0	~8
Julho 27, 1976	China, Tangshan	255000,0	7,5
Agosto 9, 1138	Syria, Aleppo	230000,0	
Maio 22, 1927	China, perto de Xining	200000,0	7,9
Dezembro 22, 856+	Irão, Damghan	200000,0	
Dezembro 16, 1920	China, Gansu	200000,0	8,6
Março 23, 893+	Irão, Ardabil	150000,0	
Setembro 1, 1923	Japão, Kwanto	143000,0	7,9
Outubro 5, 1948	USSR(Turkmenistan,Ashgabat)	110000,0	7,3
Dezembro 28, 1908	Itália, Messina	70.000-100000	7,2
Setembro, 1290	China, Chihli	100000,0	
Novembro, 1667	Caucásica, Shemakha	80000,0	
Novembro 18, 1727	Irão, Tabriz	77000,0	
Novembro 1, 1755	Portugal, Lisboa	70000,0	8,7
Dezembro 25, 1932	China, Gansu	70000,0	7,6
Maio 31, 1970	Peru	66000,0	7,9
1268	Ásia Menor, Sílicia	60000,0	
Janeiro 11, 1693	Itália, Sicília	60000,0	
Maio 30, 1935	Paquistão, Quetta	30.000-60.000	7,5
Fevereiro 4, 1783	Itália, Calábria	50000,0	
Junho 20, 1990	Irão	50000,0	7,7

O número de ocorrências (documentadas) com mais de 50000 fatalidades é relativamente baixo e é um reflexo dessa baixa probabilidade, e poderá ser explicado pela geologia relativamente estável nesta região do planeta.

Mais de 90% dos sismos estão relacionados com o movimento de placas tectónicas<sup>4</sup> [36],

<sup>2</sup> A “United Nations International Strategy for Disaster Reduction” (UNISDR) define risco como a combinação da probabilidade de um evento ocorrer e as suas consequências negativas (UNISDR, 2010b). Um evento pode ser induzido por uma grande variedade de causas, como desastres naturais, industrial acidentes ou agentes biológicos (por exemplo, espécies exóticas invasoras). Nos últimos anos, riscos cada vez mais complexos parecem estar a emergir em todo o mundo. Riscos em evolução e emergentes mostram a crescente vulnerabilidade da nossa sociedade, economia e ecossistemas. Esta vulnerabilidade sócio-económica-ecológica para eventos perigosos vai, muito provavelmente, aumentar nos próximos anos, principalmente devido à evolução sócio-económica em curso que inclui a globalização, a pobreza, o crescimento populacional, a urbanização, a degradação ambiental e outros factores, como a mudança climática.

<sup>3</sup> A Estratégia Internacional das Nações Unidas para Redução de Desastres (UNISDR 2010a, 2010b) define vulnerabilidade como as características e circunstâncias de uma comunidade, sistema ou activo que tornam mais susceptíveis aos efeitos danosos de um perigo.

<sup>4</sup> Na teoria da tectónica de placas, a parte mais exterior da Terra é composta de duas camadas: a Litosfera, que inclui a crosta e a zona solidificada na parte mais externa do manto, e a Astenosfera, que inclui a parte mais interior e viscosa do Manto. Numa escala temporal de milhões de anos, o Manto parece comportar-se como um líquido superaquecido e a Litosfera, mais exterior, e portanto mais fria, encontra-se fragmentada em várias placas tectónicas. Forças do interior da Terra fazem que as placas se desloquem sobre a Astenosfera, provocando várias deformações e fenómenos nos seus limites externos, como o surgimento de falhas, dobramentos, terremotos e erupções vulcânicas.



principalmente nos limites das placas (ver Figura 2.2. a) ). O Norte e Oeste da Europa localizam-se no centro da Placa Euro-Asiática e o Sul e Leste da Europa localizam-se na fronteira das Placas Euro-Asiática e Africana. O risco sísmico na Europa está longe de ser uniforme (ver Figura 2.2. b)).

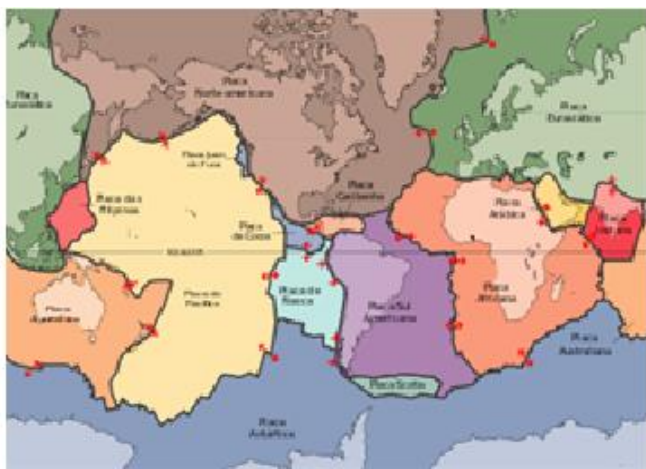


Fig.2.2. a) Localização das placas tectónicas [11].

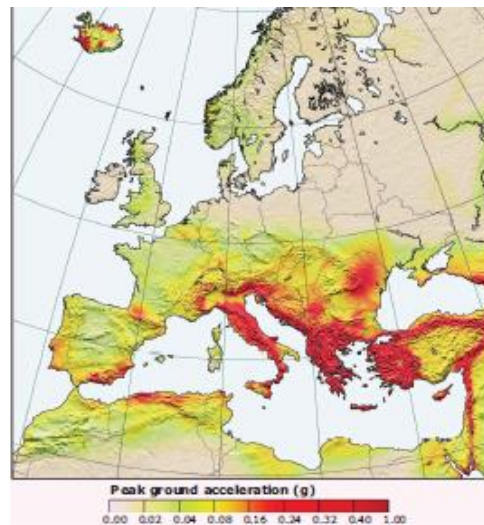


Fig.2.2. b) Modelo do risco sísmico para a região Europa-Mediterrâneo [12].

Baseado no modelo do risco sísmico definido para a região Europa-Mediterrâneo, serão expectáveis as seguintes magnitudes sísmicas<sup>5</sup> [37] no próximo século:

- 1) Sismos de intensidade forte ( $6,5 < M < 7,4$ ), nas zonas a vermelho;
- 2) Sismos de intensidade média ( $5,5 < M < 6,5$ ), nas zonas a amarelo;
- 3) Sismos de intensidade fraca, nas zonas a verde;

Além disso, o facto de os riscos geofísicos estarem mais concentrados nas áreas do sul e do leste da Europa tem, em certa medida, um paralelismo com as tendências globais na distribuição desigual do número de mortes e perdas económicas, provocados por desastres naturais. O número de mortes humanas em países desenvolvidos é geralmente pequeno, mas as perdas económicas podem chegar a níveis elevados, enquanto no caso dos países em desenvolvimento [13] assiste-se ao contrário.

<sup>5</sup> Quadro 2.3. “Escala de Richter” : Magnitude, efeitos, e frequência da ocorrência de sismos

Descrição	Magnitude	Efeitos	Frequência
Microsismos	< 2,0	Microsismos não perceptíveis pelos humanos.	~8000 por dia
Muito pequeno	2,0-2,9	Geralmente não sentido, apenas detectado/registado por sismógrafos.	~1000 por dia
Pequeno	3,0-3,9	Frequentemente sentido, mas raramente causa danos.	~49000 por ano
Ligeiro	4,0-4,9	Tremor notório de objectos no interior de habitações, ruídos de choque entre objectos. Sismo significativo, mas com danos importantes improváveis.	~6200 por ano
Moderado	5,0-5,9	Pode causar danos importantes em edifícios mal concebidos e em zonas restritas. Provoca apenas danos ligeiros em edifícios bem construídos.	800 por ano
Forte	6,0-6,9	Pode ser destruidor em áreas habitadas num raio de até 160 quilómetros em torno do epicentro.	120 por ano
Grande	7,0-7,9	Pode provocar danos graves em zonas vastas.	18 por ano
Importante	8,0-8,9	Pode causar danos sérios num raio de várias centenas de quilómetros em torno do epicentro.	1 por ano
Excepcional	9,0-9,9	Devasta zonas num raio de milhares de quilómetros em torno do epicentro.	1 em cada 20 anos
Extremo	>10,0	Desconhecido. Na história conhecida nunca foi registado um sismo desta magnitude.	Extremamente raro.

Grandes sismos podem ocorrer em áreas específicas da Europa central, ainda que seja relativamente raro, e tais eventos podem gerar enormes prejuízos, uma vez que os activos económicos de risco são de valor considerável.

É de notar ainda que algumas fontes indiquem que as perdas económicas podem estar a aumentar mais rapidamente do que o crescimento económico [14], porque a urbanização está a concentrar populações e riqueza, de tal modo que, quando os desastres ocorrem as perdas são potencialmente muito maiores [15].

### 2.3.1. Os avanços na redução e gestão do risco de catástrofes na Europa

Nos últimos anos, as políticas de redução e gestão do risco de catástrofes mudaram de defesa contra os riscos (principalmente por medidas estruturais) para uma abordagem mais abrangente, integrada dos riscos (ver Figura 2.3.).

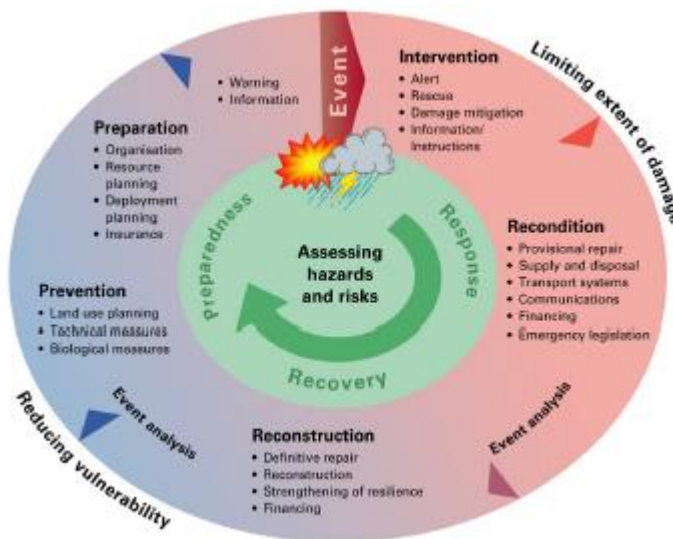


Fig. 2.3. Ciclo da gestão integrada do risco [16].

Dentro da Gestão Integrada de Riscos (IRM), o ciclo completo de catástrofe - prevenção, preparação, resposta e recuperação deve ser levado em consideração quando se trata de qualquer tipo de perigo, seja ele de origem natural ou tecnológica [6]. A nível global, o Quadro Acção de Hyogo aprovado pela 168 governos em 2005, estabelece um plano global na redução o risco de catástrofes durante a próxima década [38]:

- 1) Fortalecer a capacidade normativa, técnica e institucional para a gestão de catástrofes;
- 2) Intercâmbio de informações e coordenação entre instituições para o alerta precoce, redução do risco de desastre e resposta aos desastres;
- 3) Criação e aperfeiçoamento de políticas, mecanismos operacionais, planos e sistemas de comunicação para preparação e respostas rápidas a desastres que ultrapassam as capacidades dos estados;
- 4) Preparar, rever e actualizar periodicamente políticas e planos de preparação e respostas aos desastres, a todos os níveis, com especial atenção nas zonas e grupos mais vulneráveis;
- 5) Promover exercícios periódicos de preparação (incluindo exercícios de evacuação, com objectivo de proporcionar respostas rápidas e eficazes em desastres).

A nível da União Europeia, a Comissão Europeia lançou recentemente um comunicado intitulado "Uma abordagem comunitária para a prevenção de catástrofes naturais e desastres tecnológicos". Este comunicado propõe que as acções a nível da UE devem centrar-se em três áreas [17]:

- (1) Desenvolvimento de políticas de prevenção baseadas no conhecimento;
- (2) Ligação dos agentes às políticas durante todo o ciclo de gestão das catástrofes;
- (3) Melhoria da eficácia dos instrumentos financeiros e legislativos existentes.

Como consequência deste comunicado, o Conselho da União Europeia adoptou, em Novembro de 2009, as “Conclusões, num quadro comunitário, sobre a prevenção de catástrofes na União Europeia” [18], que listam as acções iniciais que devem ser tomadas pela Comissão Europeia nos anos seguintes. Baseadas neste documento, diversas actividades já foram iniciadas, incluindo esforços na implantação de orientações da EU na gestão de catástrofes, quer através da avaliação de riscos, quer no mapeamento de catástrofes [2].

### **2.3.2. As opções de gestão Europeia para reduzir os impactos provocados por sismos**

Porque os países têm diferentes níveis de risco sísmico, medidas de mitigação específicas destinadas à redução de riscos sísmicos são geralmente conceptualizadas a nível nacional. A nível da União Europeia, a EN 1998: Eurocódigo 8 (Eurocódigos, 2004) apresenta critérios comuns de projecto e métodos de engenharia civil anti-sísmica funcional, na medida em que os maiores impactos (económicos e humanos) causados por sismos se devem ao colapso de infra-estruturas e edifícios.

No futuro imediato, as medidas prioritárias para mitigação dos impactos dos sismos devem concentrar-se na supressão das lacunas existentes entre a investigação e a legislação, e na tradução destes o mais rapidamente possível em códigos de zonamento e de construção. Na verdade, a investigação científica recente nas áreas de sismologia e da acção sísmica<sup>6</sup> [19] observaram uma melhoria significativa no conhecimento dos riscos sísmicos na Europa.

Nas áreas da Europa mais afectadas pela actividade sísmica, é importante reduzir a vulnerabilidade de edifícios e infra-estrutura. Os Códigos de Construção são sempre aplicados a construções novas mas não existe legislação específica em vigor para cobrir edifícios existentes. Uma medida possível poderia ser a aplicação extensiva de sistemas sísmicos de dissipação de energia e de isolamento<sup>7</sup> [20], a estruturas e edifícios existentes, reforçando significativamente a sua estabilidade, mesmo sob condições dinâmicas (p.e. sísmica). Infelizmente, os custos de tais aplicações são muito consideráveis e, portanto, é necessário um processo de definição de prioridades. No entanto, a aplicação de tais sistemas é menos dispendiosa do que a reconstrução (cerca de três vezes menos, de acordo com uma estimativa para a Itália) [21]. Um primeiro passo nesse sentido será realizar uma análise estratégica da vulnerabilidade das infra-estruturas e outros elementos primários (tais como hospitais, escolas, património cultural e artístico) localizados nas áreas mais afectadas pela actividade sísmica.

## **2.4. Catástrofes sísmicas em Portugal**

Existe uma enorme assimetria na distribuição do risco sísmico em Portugal Continental (ver Quadro 2.4.).

<sup>6</sup> Tectónica sísmica é a síntese de sismo, dados geofísicos, geodésicos e geológicos para deduzir a arcabouço tectónico de uma região.

<sup>7</sup> Estes sistemas são projectados para isolar as fundações de efeitos sísmicos, protegendo assim as partes superiores dos edifícios de abalos sísmicos.

Quadro 2.4. Lista da sismicidade<sup>8</sup> em Portugal Continental [22].

Data	Localização	Impactos	Magnitude
Fevereiro 22, 60	Costas de Portugal e Galiza	Seguido de um grande maremoto	
Janeiro 1, 382	Sentido em todo o território nacional	Submersão de 3 ilhas em frente do cabo de S. Vicente , Algarve	
Janeiro 1, 1017	Epicentro na cidade de Lisboa		
Março 15, 1204	Epicentro no Golfo de Cádiz		
Janeiro 1, 1344	Epicentro no vele inferior do Tejo	Muitos danos materiais e mortos em Lisboa	
Agosto 24, 1356		Grandes estragos em Lisboa	
Janeiro 26, 1531	Vale do Tejo	Danos em 25% e desmoronamento de 10% das casas de Lisboa ; 2% da população de Lisboa morta	
Novembro 1, 1587	Sotavento algarvio	Grande devastação	
Dezembro 27, 1722	Tavira , Algarve	Grandes danos materiais e humanos de Sagres a Castro Marim , Algarve	
Novembro 1, 1755	Lisboa	Estragos muito importantes em Lisboa e Algarve; cerca de 50000 mortes	8,75-9
Março 31, 1761	Cabo de S. Vicente , Algarve		
Janeiro 12, 1856	Sotavento algarvio	Grandes estragos no Sotavento algarvio	
Novembro 11, 1858	Vale do Sado	Grandes prejuízos na região de Setúbal	
Abril 23, 1909	Vale do Tejo	Destuição total de Benavente ; morte de 46 pessoas	6-7
Fevereiro 28, 1969	Região do Algarve	Danos materiais ligeiros	7

Verifica-se pelo quadro anterior, a existência da ocorrência de um maior número de sismos relevantes a Sul do Tejo, que engloba a região algarvia, mais do que na região Norte e Centro de Portugal. Isso permite diagnosticar a existência de uma maior probabilidade para a ocorrência de sismos de maior intensidade nessas regiões de Portugal. Uma das explicações poderá encontrar-se na geologia do território nacional, com terrenos mais rochosos nas regiões Norte e Centro, mais aluvionares nas bacias do Tejo e Sado e solos brandos no Sul, genericamente (ver Figura 2.4.a) ). Outra das explicações será a localização geográfica das regiões mais a Sul, verificando-se a sua proximidade dos limites extremos da placa Euro-Asiática (zonas de maior intensidade sísmica). Também se poderá explicar o elevado número de eventos sísmicos no Vale do Tejo devido à existência de enormes falhas litosféricas, aí localizadas (ver Figura 2.4.b) ).

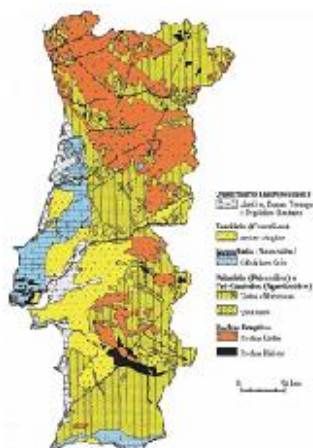


Fig 2.4.a) Carta geológica de Portugal Continental [23]



Fig. 2.4.b) Sistema de falhas litosféricas no território nacional [24]

Nota : Demarcação a cinza : Portugal continental  
Demarcação a vermelho : Vale do Tejo e Sado

<sup>8</sup> Frequência e distribuição dos tremores de terra e que está em relação com as grandes linhas de fratura da crosta terrestre [41].

A nível dos impactos da sismicidade em Portugal face à distribuição de efectivos humanos e económicos, verifica-se que na região do Vale do Tejo e Sado há uma densidade populacional elevada (no Vale do Tejo localiza-se a cidade de Lisboa, capital da República Portuguesa), existindo aí, também uma elevada concentração de infra-estruturas críticas. A zona litoral do Algarve pauta por uma elevada concentração de actividade turística, além de uma enorme população sazonal, além dos residentes.

Segundo Miguel Belford Correia da Silva, Ex- Director de Serviços da Unidade de Previsão de Riscos e Alerta na ANPC: “A actual capacidade de previsão é praticamente nula, infelizmente. No entanto, estimam os especialistas que a perda de vidas humanas resultantes da possível repetição de um sismo equivalente ao de 1755 em Portugal (com magnitude aproximada de 8,5 e epicentro em Lisboa) seria de 17.000 a 27.000 mortos, rondando as perdas económicas totais um montante igual ao nosso PIB. O cenário de um hipotético sismo, de magnitude elevada, com epicentro ao largo da costa do Algarve, poderia desencadear na zona litoral algarvia a repetição um maremoto devastador, com elevadas perdas económicas e humanas.” [25].

#### 2.4.1. Os avanços na redução e gestão do risco de catástrofes em Portugal

Em 29 de Março de 2007 é publicado o DL 75, Lei Orgânica da Autoridade Nacional de Protecção Civil (ANPC) [26], alterada pelo DL 73/2012, de 26 Março: “São competências da ANPC o planeamento, coordenação e execução da política de protecção civil, designadamente.

- prevenção e reacção a acidentes graves e catástrofes,
- protecção e socorro das populações
- superintendência da actividade dos bombeiros, e
- planeamento civil de emergência com vista a fazer face a situações de crise ou de guerra”.

O Estado sempre atribuiu à Protecção Civil, essencialmente, o papel “operacional” de organismo responsável pela preparação e pela coordenação da resposta, que visa diminuir os efeitos de catástrofes, relegando para segundo plano o papel de promoção de acções que visem a prevenção dessas mesmas catástrofes, através da redução de vulnerabilidades (das populações, das actividades económicas e das edificações expostas), apesar dos “objectivos” da Protecção Civil abrangerem claramente as quatro componentes do “ciclo da catástrofe”: (prevenção > preparação > resposta > reposição normalidade)<sup>9</sup> [27].

Recentemente, os objectivos e domínios de actuação da ANPC foram alargados ao planeamento civil de emergência, consubstanciadas no levantamento e permanente conhecimento das principais vulnerabilidades nacionais e na definição e implementação das seguintes medidas preventivas:

- estudo das ameaças e da respectiva análise de risco,
- identificação e aumento de resiliência e protecção das infra-estruturas críticas,
- estabelecimento de planos que garantam uma pronta e coordenada acção de resposta.

<sup>9</sup> Com efeito, é necessário regressar à Lei de Bases da Protecção Civil. A dimensão preventiva é claramente assumida no código genético da Protecção Civil, de que é exemplo o artigo 4º (Objectivo e domínios de actuação) da Lei 27/2006, 3 de Julho:

1 - São objectivos fundamentais da protecção civil:

a) Prevenir os riscos colectivos e a ocorrência de acidente grave ou de catástrofe deles resultante;...

2 - A actividade de protecção civil exerce-se nos seguintes domínios de actuação:

a) Levantamento, previsão, avaliação e prevenção dos riscos colectivos;

b) Análise permanente das vulnerabilidades perante situações de risco;...

f) Estudo e divulgação de formas adequadas de protecção de edifícios em geral, de monumentos e de outros bens culturais, de infra-estruturas, do património arquivístico, de instalações de serviços essenciais, bem como do ambiente e dos recursos naturais...

Em Julho de 2010 todos os partidos votaram, por unanimidade, uma recomendação ao governo, para que se crie com urgência um plano nacional:

- redução da vulnerabilidade sísmica das infra-estruturas hospitalares, escolares, industriais, governamentais, de transportes, energia, património histórico e zonas históricas dos núcleos urbanos
- reforço do controlo da qualidade dos edifícios novos
- obrigatoriedade de segurança estrutural anti-sísmica nos programas de reabilitação urbana.

Em 2011, o governo propôs um modelo de seguros, para indemnizar os prejuízos materiais dos sismo [39].

#### **2.4.2. As opções de gestão Portuguesa para reduzir os impactos provocados por sismos**

As vulnerabilidades das pessoas, das actividades económicas e das edificações que as abrigam, resultam essencialmente de:

- Erros de localização, que agravam a sua exposição a catástrofes (a corrigir através do ordenamento do território e urbanismo, designadamente nas revisões dos PDM);
- Erros de concepção, construção e manutenção de edificações, que reduzem a resiliência e agravam a vulnerabilidade das mesmas em situações de catástrofe (a corrigir através de bons códigos de segurança das edificações e adequada fiscalização técnica da sua aplicação).

A implementação da construção anti-sísmica é uma importante forma de minimizar os efeitos de um sismo nas edificações. O colapso de edifícios é uma das principais causas de morte durante uma crise sísmica [28]. Em Portugal só em 1960 é que passou a haver regulamentação específica para que as novas construções fossem resistentes aos sismos. Em 1980 essa regulamentação foi reforçada, determinando que os edifícios têm de cumprir certos requisitos para resistir aos sismos. Neste âmbito, é certo, já possuímos bons códigos de segurança para as edificações, designadamente em duas áreas [25]:

- Segurança estrutural em Infra-estruturas e Edifícios, através dos seguintes regulamentos :
  - RSA: “Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes” — DL 235/83 [44].
  - REBAP: “Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado”— DL349-C/83 [45].
  - NP EN 1998-1, norma portuguesa respeitante à EN 1998-1: Eurocódigo 8, e que trata especificamente da Segurança Estrutural Anti-sísmica [46].
- Segurança contra incêndios em Edifícios, através dos seguintes regulamentos:
  - SCIE: “Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios” (DL 220/2008) [47].
  - “Regulamento Técnico de SCIE” (Portaria 1532/2008) [48].

Segundo Ema Coelho, responsável do Núcleo de Engenharia Sísmica do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) [29], “A maioria das construções existentes já terá resistência sísmica, no entanto existem preocupações com as edificações anteriores a 1960”.

Ainda, segundo a mesma responsável:

- As câmaras municipais têm técnicos e existem mecanismos para verificar se as construções, mesmo depois de concluídas, cumprem os requisitos de resistência sísmica.

- A regulamentação portuguesa, em termos da resistência sísmica em edificações, até é das mais evoluídas da Europa.
- Está a ser preparada nova legislação em termos da resistência sísmica em edificações e as autoridades responsáveis deveriam aproveitar a oportunidade para regulamentar a obrigatoriedade de reforçar a resistência sísmica nas construções mais antigas [29], principalmente nas zonas mais vulneráveis, como Lisboa e Algarve.

Segundo o Professor João Azevedo, Departamento de Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico, [29] “Em teoria, os edifícios construídos depois dos anos 80 estão bem preparados para resistir a um sismo, mas não existe nenhuma certificação além da garantia do técnico que assina o projecto. Devia haver um processo mais exigente de controlo de qualidade. Não havendo, ainda, garantias suficientes, quanto à qualidade nos seguintes casos: grande parte dos edifícios de Lisboa; nas construções anteriores aos anos 80; na construção tradicional, em alvenaria, no Alentejo e Algarve”.

## 2.5. Regulamentos de Segurança Estrutural em Infra-Estruturas e Edifícios

### 2.5.1. Eurocódigo 8 (NP EN 1998-1)

De forma não exaustiva, apresenta-se aqui um sumário das principais recomendações e princípios do Eurocódigo 8 (NP EN 1998-1), para construções em betão armado, no conjunto de normas em vigor em Portugal, sendo que os valores para cálculo serão referenciados no Capítulo 4 [30]:

#### *Normas portuguesas para a concepção de edifícios em betão armado:*

- NP EN1990:2009 Eurocódigo : bases de projecto estrutural [49]
- NP EN 1991-1-1:2009 Eurocódigo 1: acções em estruturas [50]
- NP EN 1992-1-1:2010 Eurocódigo 2: projecto de estruturas de betão [51]
- NP EN 1997-1:2010 Eurocódigo 7: projecto geotécnico
- NP EN 1998-1:2010 Eurocódigo 8: projecto de estruturas resistentes a sismos (regras gerais)
- NP EN 1998-3:2010 Eurocódigo 8: Avaliação e reabilitação de edifícios[52]
- NP EN 1998-5:2010 Eurocódigo 8: projecto de estruturas resistentes a sismos (fundações)

Publicado pelo Comité Europeu de Normalização (2004-2006)

### **Eurocódigo 8 – Projecto de estruturas para resistência do terremoto**

- NP EN1998-1: regras gerais, acções sísmicas e regras para edifícios
  - a) Para ser aplicado em combinação com os outros Eurocódigos/NP EN
  - b) Conteúdo da NP EN 1998-1:
    - Geral
    - Requisitos de desempenho e critérios de conformidade
    - Condições de solo e acção sísmica
    - Projecto de edifícios
    - Regras específicas para:
      - i. Edifícios de betão
      - ii. Edifícios metálicos
      - iii. Edifícios compostos : metálicos/betão
      - iv. Edifícios de madeira
      - v. Edifícios de alvenaria



- Isolamento sísmico das fundações
- NP EN1998-2: pontes
- NP EN1998-3: Avaliação e reabilitação de edifícios
- NP EN1998-4: silos, tanques e tubagens
- NP EN1998-5: fundações, estruturas e aspectos geotécnicos de retenção
- NP EN1998-6: torres, antenas e outros mastros e chaminés

### **Objectivos do projecto sísmico, de acordo com o Eurocódigo 8, em caso de sismo:**

- Protecção das vidas humanas
- Limitação de danos
- Permanência da operacionalidade de estruturas importantes para a protecção civil

Nota: Estruturas especiais (fábricas nucleares, plataformas petrolíferas, grandes barragens) estão fora do âmbito da NP EN 1998.

### **Requisitos de desempenho.**

#### Exigências de não-colapso:

- Resistência da acção sísmica de projecto sem colapso local ou global. Exigência relacionada com a protecção da vida, após um evento sísmico raro, através da prevenção do colapso global ou local. Após o evento, uma estrutura pode, economicamente, ser irrecuperável mas deve garantir a evacuação segura após réplicas sísmicas.
- Manter a integridade estrutural e a capacidade de carga residual após o evento sísmico. Requisito associado com o estado de limites últimos (ELU). Para estruturas correntes, esta exigência deve ser cumprida, para uma acção sísmica de referência, com uma probabilidade de 10% de excedência em 50 anos (valor recomendado), ou seja, com um período de retorno de 475 anos.

#### Exigência de limitação de danos:

- Resistir a uma acção sísmica mais frequente sem danos. Requisito relacionado com a redução das perdas económicas em sismos frequentes (estruturais e não estruturais). A estrutura não deve ter deformações permanentes e os seus elementos devem manter a sua força original e rigidez, sem necessidade de reparação estrutural. Os danos não-estruturais, economicamente, devem ser viáveis.
- Evitar limitações de uso, com custos elevados. Requisito associado com o estado de limite de serviço (ELS). Para estruturas correntes, esta exigência deve ser cumprida, para uma acção sísmica de referência, com uma probabilidade de 10% de excedência em 10 anos (valor recomendado) ou seja, com um período de retorno de 95 anos [30].

### **Diferenciação de confiabilidade**

A confiabilidade do cumprimento do requisito depende das consequências do fracasso. Para resolver esta questão o NP EN 1998-1 define dois critérios:

- Classificar as estruturas em classes de importância
- Atribuir um maior ou menor período de retorno da acção sísmica de projecto

Em termos operacionais, multiplicar a acção sísmica de referência pelo factor de importância  $\gamma_i$ :



### Factor de importância e período de retorno

Na maioria dos locais, a taxa anual de excedência,  $H(a_{gR})$ , da aceleração de pico, de referência do solo,  $a_{gR}$ , pode ser tomada como variável com  $a_{gR}$ , do seguinte modo (ver notas de 2.1.(4), 4.2.5.(5) e 4.3.2.2.(2) da NP EN 1998-1):

$H(a_{gR}) \sim k_0 a_{gR}^{-k}$ , com  $k$  dependendo da sismicidade, mas sendo em geral da ordem 3.

Se a acção sísmica é definida em termos de aceleração máxima do solo de referência,  $a_{gR}$ , o valor do factor de importância  $\gamma_I$ , que multiplicará a acção sísmica de referência para alcançar a mesma probabilidade de excedência em  $T_L$  anos, como em  $T_{LR}$  anos para os quais a acção sísmica de referência foi definida, pode ser calculado como:

$$\gamma_I \sim (T_{LR}/T_L)^{-1/k}.$$

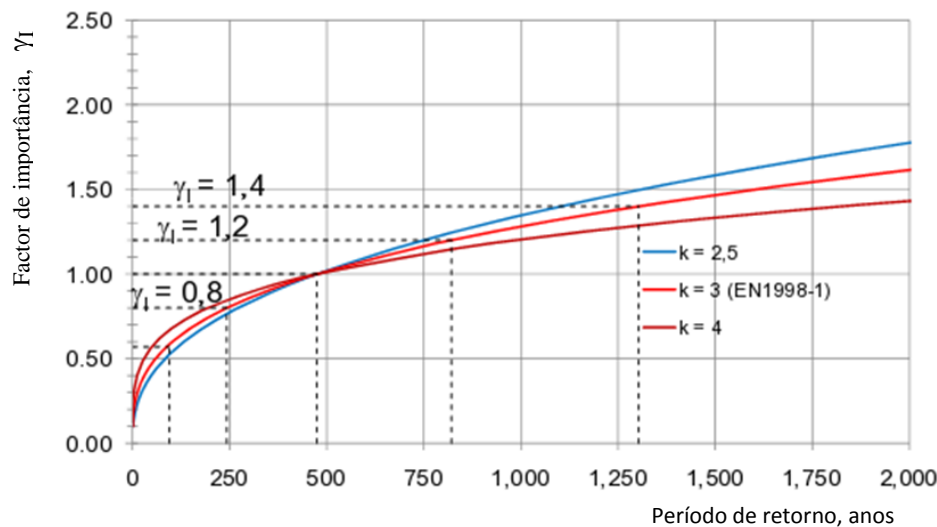


Fig.2.5. Factor de importância,  $\gamma_I$  [30]

Factores de importância para edifícios (valores recomendados):

$\gamma_I = 0,8$  (I);  $1,0$  (II);  $1,2$  (III) e  $1,4$  (IV).

Factor de redução (valores recomendados), para ter conta o baixo período de retorno na verificação de limitação de danos:

$v = 0,4$  (III e IV) ;  $0,5$  (I e II).

Nota: Entre parêntesis, classe de importância para edifícios segundo a NP EN 1998-1.

### Critérios de conformidade (Estados limites últimos (ELU))

- A resistência e a capacidade de dissipação de energia a serem atribuídos à estrutura estão relacionados com a exploração da extensão da resposta não-linear da estrutura à acção sísmica.
- Em termos operacionais, tal equilíbrio entre resistência e capacidade de dissipação de energia caracteriza-se pelo factor de comportamento ( $q$ ) e pelas classes de ductilidade associadas.
- Para um caso limite, na concepção de estruturas classificadas como baixo-dissipativas, não é tida em conta qualquer dissipação de energia histerética e o factor de comportamento não pode ser, em geral, maior do que  $1,5$ , valor considerado que tem em conta capacidades de resistência reais superiores às de projecto.

- Para estruturas dissipativas, o factor de comportamento terá valores maiores do que para o caso de estruturas classificadas como baixo-dissipativas, contando com a dissipação de energia histerética que poderá ocorrer, especificamente, em determinadas zonas de projecto, chamadas zonas dissipativas ou regiões críticas.

## Verificações de projecto

### Aspectos a ter em consideração na verificação aos Estados limites últimos (ELU):

- Capacidade de dissipação de energia e resistência
- Classes de ductilidade e valores de factor de comportamento
- Verificação ao derrube e à estabilidade ao deslizamento
- Resistência dos elementos de fundação e do solo
- Efeitos de segunda ordem
- Efeitos não prejudiciais a elementos não-estruturais

Controlo simplificado para os casos de baixa sismicidade ( $a_g < 0,08 \text{ g}$ ).

Não aplicação da NP EN 1998-1 para casos de muito baixa sismicidade ( $a_g < 0,04 \text{ g}$ )

### Aspectos a ter em consideração na verificação aos Estado de limitação de danos (ELD/ELS):

- Limites de deformação (deslocamento inter-pisos, devido à vibração sísmica, máximo)
  - 0,5% para elementos não estruturais frágeis fixos à estrutura;
  - 0,75% para elementos não estruturais dúcteis fixos à estrutura;
  - 1,0% para elementos não estruturais, que não interferem com a estrutura.
- Rigidez estrutural suficiente para a operacionalidade dos serviços e equipamentos vitais.

Nota: Os ELD podem condicionar o projecto em muitos casos.

### Por vezes são necessárias medidas específicas e a NP EN 1998-1 define essas situações:

- Quando é necessário reduzir a incerteza ou promover um bom comportamento da estrutura.
- Para satisfazer um terceiro requisito de desempenho. Prevenir o colapso global sob um evento sísmico muito raro (período de retorno de 1.500 a 2.000 anos).

Nota: O Estado limite de colapso iminente (NC) está definido na NP EN 1998-3: Estrutura muito perto do colapso real e, corresponde à exploração completa da capacidade de deformação dos elementos estruturais.

- As medidas específicas definidas na NP EN 1998-1 são:
  - Formas simples e regulares (no plano e em altura)
  - Controlo da hierarquia das resistências e sequência dos modos de ruptura (projecto de capacidade)
  - Evitar rupturas frágeis
  - Controlar o comportamento das regiões críticas (detalhar com cuidado as disposições construtivas)
  - Usar o modelo estrutural adequado (se apropriado, deformabilidade do solo e elementos não-estruturais)

- Em zonas de sismicidade elevada, é recomendado um plano formal da qualidade do projecto, construção e uso.

***Parâmetros determinados a nível nacional (a serem definidos nos anexos nacionais)***

- Alguns parâmetros nos Eurocódigos deverão ser definidos a nível nacional. Na NP EN 1998-1 esses parâmetros são:
  - valores e/ou classes alternativos aos do Eurocódigo,
  - valores para serem usados unicamente para os fins específicos do Eurocódigo,
  - dados específicos do país (geográficos, climáticos, etc),
  - só usados onde o procedimento alternativo é permitido no Eurocódigo.
- Eles também podem conter:
  - decisões sobre a aplicação de anexos informativos,
  - referências para informações complementares, não contraditórias, para ajudar na aplicação do Eurocódigo.

**2.5.2. Comparação da NP EN 1998-1 com RSA / REBAP**

De seguida apresentam-se algumas diferenças de requisitos entre o NP EN 1998-1 e o RSA/REBAP [31].

**Exigências de Desempenho**

Exigências de não-colapso:

No RSA a acção sísmica é considerada como uma acção variável e, por conseguinte, apresenta uma probabilidade de excedência de 5% em 50 anos, ou seja, um período de retorno de 975 anos. Este mesmo valor é ainda superior tendo em conta que se majora a acção por um coeficiente de 1,5. Desta forma, estamos perante uma discrepância entre os 475 anos propostos na NP EN 1998-1 e os 975 anos regulamentados no RSA. Optou-se por associar à acção sísmica na verificação de não colapso, um período retorno de 475, ou seja, o valor proposto pela NP EN 1998-1.

Exigências de limitação de danos

Um aspecto a destacar logo à partida, é o facto do RSA não fazer referência a qualquer verificação associada à limitação de danos, uma das grandes diferenças entre os dois documentos, salientando-se assim a importância que a NP EN 1998-1 dá à limitação de perdas económicas.

**Definição da Acção Sísmica**

Zonamento sísmico do território

Analisando os dois zonamentos sísmicos do território (RSA e NP EN 1998-1, ver Figs. 2.6. a) e b)), destaca-se logo à partida o facto da NP EN 1998-1 propor zonamentos diferentes, consoante a acção sísmica seja considerada afastada (acção sísmica do tipo 1) ou próxima (acção sísmica do tipo 2). Isto realça a falta de coerência do RSA cujo zonamento é único e foi elaborado com base apenas na Acção Sísmica do Tipo1. De facto consoante se esteja a tratar da Acção Sísmica do Tipo I ou II, a posição do epicentro será diferente, o que leva a que

o território nacional seja afectado de uma forma distinta consoante a acção sísmica em causa [31].

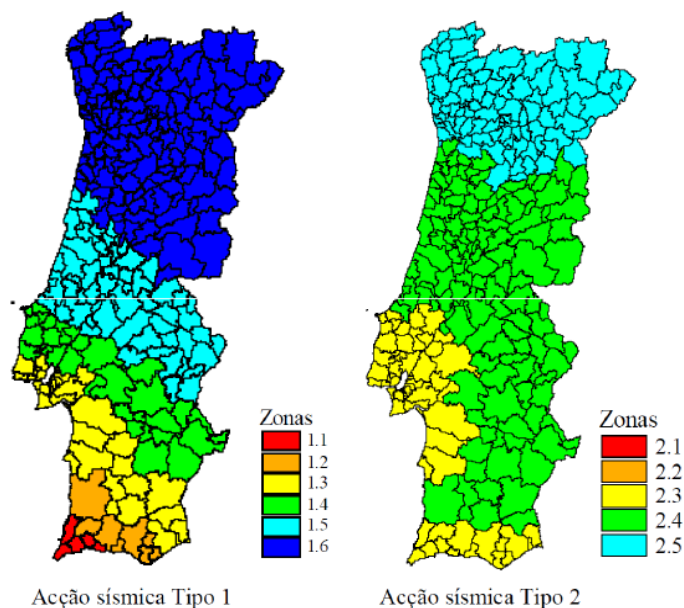


Fig. 2.6.a) Zonamento sísmico nacional, segundo o anexo nacional, pela NP EN 1998-1.



Fig. 2.6.b) Zonamento sísmico nacional, segundo o RSA.

### Classificação dos solos

Relativamente aos tipos de condições de terreno, a NP EN 1998-1 preconiza uma classificação decrescente (de A até S2) em termos de consistência e resistência do respectivo solo, aspecto que sofreu alterações, relativamente ao RSA, no qual são definidos apenas 3 tipos de terreno (ver Quadros 2.5. a) e b)).

Quadro 2.5.a) Classificação dos solos segundo a NP EN 1998-1

Tipo de solo	Descrição
A	Rocha ou formação rochosa, incluindo no máximo 5m de material fraco à superfície
B	Depósitos muito densos de areias, cascalho ou argila muito compacta, com alguma espessura (na ordem das dezenas), caracterizados por um aumento gradual das propriedades mecânicas com a profundidade
C	Depósitos fundos de areia de média/alta densidade, cascalho ou argila compacta, com espessuras consideráveis (das dezenas às centenas de metros)
D	Depósitos de solos de média coesão soltos ou de solos de baixa coesão compactos
E	Formações aluvionares de pequena espessura (5 a 20m) sobre formações rochosas
S1	Depósitos com uma espessura mínima de 10m, constituídos por argila/sedimentos com elevado nível de plasticidade e alto nível freático
S2	Depósitos de solos susceptíveis de liquefacção, argilas incoerentes ou outro tipo de solo que não se enquadre nas categorias acima descritas

Quadro 2.5.b) Classificação dos solos segundo o RSA

Tipo de solo	Descrição	Correspondência com a NP EN 1998-1
I	Rochas e solos coerentes rijos	Solos dos Tipos A e B
II	Solos coerentes muito duros, duros e de consistência média; solos incoerentes compactos	Solos do Tipo C
III	Solos coerentes moles e muito moles; solos incoerentes soltos	Solos do Tipo D

Nota : Os solos dos Tipos E, S<sub>1</sub> e S2 não têm correspondência com o RSA.

Nota: O sentido das setas a laranja reflectem a intensidade crescente de acção.

### Representação da Acção sísmica

Segundo o NP EN 1998-1, atribui-se em Anexo Nacional, à Acção Sísmica tipo 1 (sismo afastado) magnitudes superiores a 7,0 e à Acção Sísmica Tipo 2 (sismo próximo) valores inferiores a 7,0. O RSA também apresenta dois tipos de acção sísmica, nomeadamente, sismo de magnitude moderada a pequena distância focal (acção sísmica tipo 1) e um sismo de maior magnitude a uma maior distância focal (acção sísmica tipo 2). Contudo, as designações dos dois tipos de espectros nos dois documentos regulamentares apresentam-se cruzadas, isto é, a acção sísmica tipo 1 do RSA corresponde ao sismo do tipo 2 da NP EN 1998-1 e vice-versa.

### Considerações sobre valores espectrais

Verifica-se, que de um modo geral, excepto para a zona de Lagos, que a NP EN 1998-1, para condições de terreno do tipo rocha, propõem valores espectrais iguais ou em muitos dos casos, inferiores aos preconizados no RSA, contudo isto não implica que a NP EN 1998-1 esteja a dar menor importância e a ser menos exigente nos cálculos, face à acção sísmica a considerar para o dimensionamento das estruturas. Pelo contrário, tem preconizado uma série de condições e exigências que obriga no dimensionamento das estruturas, nomeadamente aspectos relacionados com uma maior ductilidade e maior capacidade de dissipação de energia, daí que se possa admitir valores inferiores aos do RSA, dado o elevado comportamento em regime não linear, ao contrário do RSA, que é mais conservativo para estes mesmos aspectos.

O mesmo não acontece para diferentes condições de terreno, em que surge um claro agravamento nos valores espectrais por parte da NP EN 1998-1, isto à medida que os solos se tornam mais brandos, tendo-se acelerações espectrais para os solos de menor rigidez, de uma forma geral, sempre superiores e de uma forma bastante significativa, para toda a gama de períodos e em todas as zonas consideradas, ao contrário do observado para o solo do tipo rocha.

Este claro agravamento justifica-se, dado que solos desta natureza originam uma maior amplificação das vibrações sísmicas [32]. Este é um aspecto que o RSA não contempla, que pelo contrário, tem associados a solos mais brandos, acelerações espectrais menores que para os solos de maior rigidez. O melhor conhecimento actual deste comportamento já vem reflectido na NP EN 1998-1.

### Classes de Importância

Perante a ocorrência de um sismo, há construções com grande relevância ou mesmo indispensáveis, que têm de se manter operacionais face a um sismo, apresentando danos reduzidos ou mesmo inexistentes.

Por conseguinte, e para que logo à partida se contemple estas mesmas considerações, surge no NP EN 1998-1 o conceito de Classes de Importância das construções, e que vão influenciar a acção sísmica a considerar no dimensionamento das mesmas.

Quadro 2.6. Classes de importância para edifícios (NP EN 1998-1)

Classes de importância	Tipo de edifícios
<b>I</b>	Edifícios de menor importância para a segurança pública ( p.e. edifícios de exploração agrícola )
<b>II</b>	Edifícios correntes, que não pertençam a outras categorias (p.e. edifícios de habitação )
<b>III</b>	Edifícios para os quais a resistência sísmica, do ponto de vista das consequências em caso de colapso, é importante (p.e. escolas , salas de espectáculos , pavilhões )
<b>IV</b>	Edifícios para os quais a sua integridade, durante um sismo, é vital para a protecção civil ( p.e. hospitais, quartéis de bombeiros, instalações nucleares )

Este mesmo conceito, é também tido em conta no REBAP [31], contudo é abordado de uma forma distinta, isto é, enquanto a NP EN 1998-1 afecta directamente o valor da acção sísmica na combinação de acções, em que, para estruturas de grande importância, se majora a acção sísmica por coeficientes maiores que a unidade, obrigando a um dimensionamento mais severo, segundo o REBAP, todo este conceito é tido em consideração, mais uma vez, no caso do projecto de construções com funções vitais, através da redução em 30% do coeficiente de comportamento, de modo a se chegar a valores de esforços mais elevados e consequentemente, a um dimensionamento mais rigoroso.

### Classes de Ductilidade

A NP EN 1998-1 prevê três classes de ductilidade:

- DCL – “*Ductility Class Low*” (Baixa ductilidade) – corresponde às estruturas projectadas e dimensionadas de acordo com a NP EN 1992-1-1:2010 (EC 2), ou seja, sem disposições construtivas especiais em termos de ductilidade.
- DCM – “*Ductility Class Medium*” (Média ductilidade) – corresponde às estruturas projectadas, dimensionadas e pormenorizadas de acordo com disposições anti-sísmicas específicas, que permitem que a resposta da estrutura se desenvolva em regime não-linear, sem que se verifiquem roturas frágeis.
- DCH – “*Ductility Class High*” (Alta ductilidade) – corresponde às estruturas para as quais o projecto, dimensionamento e as disposições construtivas são tais que garantem elevados níveis de resposta não-linear, através de disposições ainda mais complexas que as da classe anterior.

Fazendo uma comparação com o REBAP, não existe uma correspondência directa entre classes, contudo as exigências para estruturas de Ductilidade Melhorada aproximam-se das exigências para estruturas DCM prescritas na NP EN 1998-1.

## Tipos de estruturas e Coeficiente de Comportamento

Quadro 2.7. a) valores do parâmetro  $q_0$  para vários tipos de estruturas de edifícios regulares em altura, pela NP EN 1998-1.

Tipo estrutural	Classe de ductilidade	
	DCM	DCH
Pórticos, Estruturas mistas pórtico-parede e Paredes acopladas	$3,0 \alpha_u / \alpha_1$	$4,5 \alpha_u / \alpha_1$
Paredes	3,0	$4,0 \alpha_u / \alpha_1$
Sistemas de rigidez concentrada	2,0	3,0
Sistemas empêndulo invertido	1,5	2,0

Quadro 2.7. b) valores do parâmetro  $q_0$  para vários tipos de estruturas pelo RSA.

Tipo de estrutura	Classe de ductilidade	
	Ductilidade Normal	Ductilidade Melhorada
Estruturas empórtico	2,5	3,5
Estruturas mistas pórtico-parede	2,0	2,5
Estruturas parede	1,5	2,0

Nota 1. Os coeficientes  $\alpha_u$  e  $\alpha_1$  são determinados segundo o tipo de sistema estrutural.

Nota 2. É de notar, ainda, que na determinação do coeficiente de comportamento estrutural, existe um parâmetro  $k_w$ , cuja determinação depende da regularidade do edifício, quer em planta, quer em altura.

## Análise Estrutural

A NP EN 1998-1 admite várias simplificações ao nível do modelo estrutural e do método de análise permitido.

Quadro 2.8. Tipo de análise sísmica permitida, na NP EN 1998-1, consoante a regularidade da estrutura

Regularidade		Simplificação permitida		Coef. Comportamento
Planta	Altura	Modelo estrutural	Análise elástica linear	
Sim	Sim	Plano	Estática (forças horizontais)	Valor de referência
Sim	Não	Plano	Dinâmica	Valor reduzido em 20%
Não	Sim	Espacial	Estática (forças horizontais)	Valor de referência
Não	Não	Espacial	Dinâmica	Valor reduzido em 20%

Estas várias opções não se afastam muito do preconizado no RSA / REBAP.

## Métodos de Análise

Relativamente aos modelos de análise linear, são apresentados dois tipos de análise, nomeadamente, uma análise simplificada com forças laterais equivalentes aplicadas ao nível de cada piso e uma análise dinâmica, com recurso a espectros de resposta. Como alternativa, surgem os métodos não lineares, nomeadamente, métodos estáticos com aplicação progressiva de cargas laterais (“*pushover analysis*”) e métodos dinâmicos de avaliação da resposta estrutural ao longo do tempo (integração passo a passo).

Quadro 2.9. – Métodos de análise prescritos na NP EN 1998-1

Análises Elásticas Lineares		Análises Não Lineares	
Análises Estáticas Equivalentes	Análises Dinâmicas Modais, por Espectros de Resposta	Análises Estáticas	Análises Dinâmicas

### Análises estáticas equivalentes

A análise estática equivalente é o tipo de análise que já teve uma utilização mais corrente, contudo, tanto o RSA como a NP EN 1998-1 permitem que se faça uso deste método simplificado, desde que se verifiquem determinadas condições. De uma forma geral, é um método que consiste na aplicação de dois conjuntos ortogonais de forças horizontais, aplicados separadamente ao modelo linear da estrutura. Tanto na NP EN 1998-1 como no RSA, admite-se que estas mesmas forças equivalentes se distribuem linearmente em altura à semelhança do que sucede no 1º modo de vibração, modo que na maioria dos casos mais influencia o comportamento dinâmico das estruturas (ver Fig.2.7.a)). Após conhecidas as forças estáticas a aplicar ao nível de cada piso, obtém-se os esforços internos através duma análise linear da estrutura. Este método é bastante simplificado, contudo, não deixa de constituir uma boa aproximação desde que seja aplicado em edifícios com uma estrutura bastante regular, tanto em planta como em altura.

Ao contrário do RSA, a NP EN 1998-1 estipula determinadas condições a verificar, de modo a ser viável a aplicação deste tipo de análise, as quais têm como base o facto da resposta do edifício não poder ter grande contribuição de modos de vibração superiores aos fundamentais em cada direcção. Pois um dos pressupostos desta metodologia é o facto de se admitir que os efeitos das rotações dos pisos são inferiores ao das translações. Apesar destes pressupostos serem tidos em consideração em ambos os regulamentos, o valor da força a aplicar em cada piso, segundo as duas direcções preferenciais, surge definido de uma forma diferente.

Nota: No que diz respeito ao cálculo do período fundamental  $T_1$ , a NP EN 1998-1, tal como o RSA, faz referência ao “*Método de Rayleigh*” como um possível método para o cálculo do mesmo.

### Análises Dinâmicas Lineares (Análise modal por espectro de resposta)

A NP EN 1998-1, tal como o Regulamento de Segurança e Acções (RSA) apresentam como método padrão de avaliação dos efeitos da acção dos sismos, técnicas de análise sísmica por espectro de resposta. Um espectro de resposta pode ser definido como a representação gráfica do valor máximo da resposta (medida em termos de deslocamento, aceleração, esforços, etc.) de um conjunto de osciladores de um grau de liberdade, quando solicitados por uma determinada acção sísmica. Estes valores máximos são representados em função da frequência própria (ou do período) dos osciladores e do valor do coeficiente de amortecimento considerado [33].

Cada modo comporta-se como um sistema de um grau de liberdade e a resposta máxima de cada modo, ao longo do tempo de actuação do sismo, corresponde ao valor espectral associado à frequência de vibração do modo (ver Fig.2.7.b)).

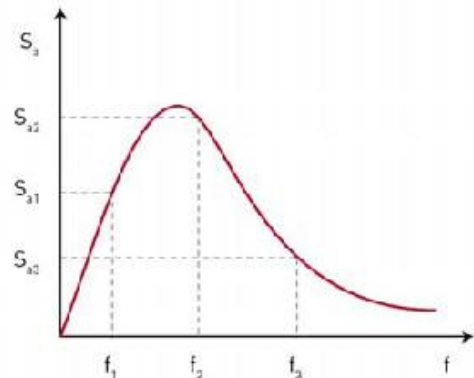
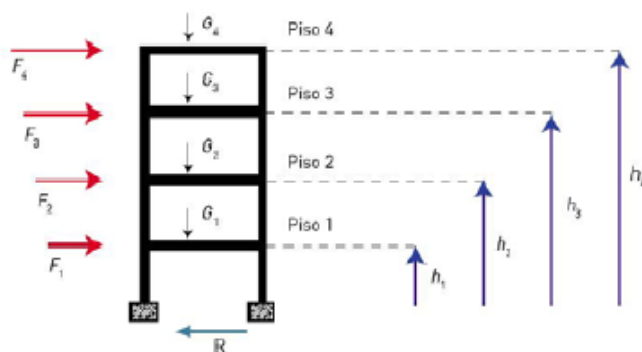


Fig. 2.7.a) Distribuição das forças estáticas ao nível dos pisos [34]

Fig. 2.7.b) Espectro de resposta de aceleração [34]



### Análises Não Lineares

Como alternativa aos métodos anteriores, surgem os métodos não lineares, nomeadamente, métodos estáticos com aplicação progressiva de cargas laterais (“*pushover analysis*”) e métodos dinâmicos de avaliação da resposta estrutural ao longo do tempo (integração passo a passo).

Dado que posteriormente serão feitas apenas análises elásticas lineares, a descrição pormenorizada destes mesmos métodos surge fora do âmbito desta dissertação.

### Regras de Dimensionamento

#### Materiais

Por forma a serem garantidas as características adequadas de ductilidade, a NP EN 1998-1 impõem determinadas exigências que recaem no tipo de betão e aço a adoptar em projecto de estruturas de betão armado, sendo elas as seguintes:

Quadro 2.10. Requisitos da NP EN 1998-1 / REBAP relativamente aos materiais que compõem o betão armado para os vários elementos estruturais.

Material	REBAP		NP EN 1998-1		
	Ductilidade Normal	Ductilidade Melhorada	DCL	DCM	DCH
Aço	-	-	Aço das classes de ductilidade B e C	Aço das classes de ductilidade B e C	Aço das classes de ductilidade C
Betão	-	-	-	Classe $\geq$ C16/20	Classe $\geq$ C20/25

Para além da imposição destes requisitos, a NP EN 1998-1, impõe a adopção de varões de ductilidade especial nas zonas críticas.

#### Restrições geométricas

Relativamente às dimensões dos pilares, vigas e paredes, e por forma a reduzirem-se problemas de instabilidade, entre outros, são estipuladas as seguintes condições na NP EN 1998-1:

Vigas :  $b_w \leq \min \{b_c + h_w; 2b\}$

Pilares :  $b_v \geq h_v/10$ , se  $\theta > 0,1$

Paredes :  $b_{w0} \geq \max \{0,15; h_s/20\}$  ,

onde  $b_w$ ,  $b_c$ ,  $b_{w0}$ , dizem respeito, respectivamente, à largura das vigas, pilares, e espessura da alma das paredes,  $h_w$  corresponde à altura da viga, e surgem, respectivamente, como a largura do pilar e distância máxima da extremidade do pilar ao ponto de inflexão da deformada, deformada esta segundo um plano paralelo à dimensão considerada ( $b_v$ ). Relativamente ao parâmetro  $\theta$ , surge como um coeficiente associado à deformação lateral entre pisos e por fim temos  $h_s$  correspondente à altura livre do piso. De notar que a condição  $\theta < 0,1$ , permite que se dispense a verificação dos efeitos de 2ª ordem, sendo o parâmetro  $\theta$  dado pela expressão seguinte, o qual tem de ser calculado para todos os pisos:

$$\theta = \frac{P_{tot} \times d_r}{V_{tot} \times h}$$

em que  $P_{tot}$  corresponde à carga gravítica total sobre e acima do piso, considerando a acção sísmica,  $d_r$  diz respeito ao deslocamento relativo entre pisos,  $V_{tot}$  corresponde ao esforço de corte no piso e  $h$  é a altura do piso em estudo.

### Dimensionamento dos elementos estruturais

De uma forma geral, constata-se que a NP EN 1998-1 obriga a um dimensionamento mais rigoroso e exigente, face aos requisitos que o REBAP estipula. Na NP EN 1998-1, surgem associadas exigências, não só mais gravosas como surgem requisitos não mencionados no REBAP e na NP EN 1998-1 surgem como condições a verificar, nomeadamente, aspectos relacionados com a amarração de armaduras nos nós das vigas, um adequado confinamento dos pilares e paredes resistentes nas zonas críticas. Verifica-se também em alguns casos que, para uma mesma exigência, a NP EN 1998-1 estipula condições mais complexas, visando assim um maior rigor e cuidado para o dimensionamento de todos os elementos estruturais

### 3. UM CASO DE ESTUDO: ESTRUTURA EM BETÃO ARMADO. PROGRAMA DE CÁLCULO ESTRUTURAL “ROBOT”.

#### 3.1. Descrição da estrutura do edifício

Como já mencionado e, considerando o propósito da presente dissertação, resolveu-se utilizar uma estrutura porticada, de malha regular e simétrica em planta (com excepção da caixa-de-elevador) e uniformidade em altura (com excepção da cobertura da caixa-de-escadas), ver Figs. 3.1.a) e 3.1.b). A adopção de uma estrutura regular e corrente é mais adequada para os objectivos da presente tese, evitando-se assim a análise de problemas pontuais e locais que pouco contribuem para a análise comparativa pretendida. É de salientar que os únicos elementos estruturais verticais são os pilares, não existindo paredes estruturais e, a não existência de vigas de fundação, na medida em que se resolveu considerar os apoios como encastramentos.

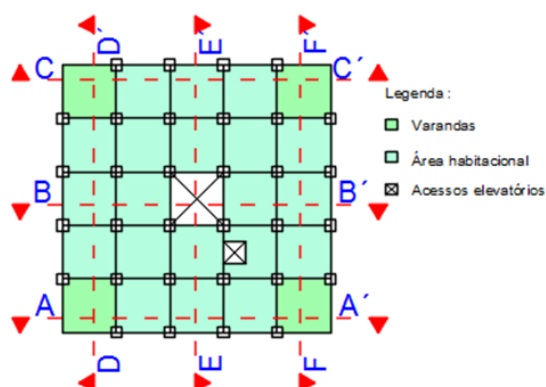


Fig. 3.1.a) Representação esquemática da planta dos pisos 0,1,2,3,4,5,6 e cobertura acessível

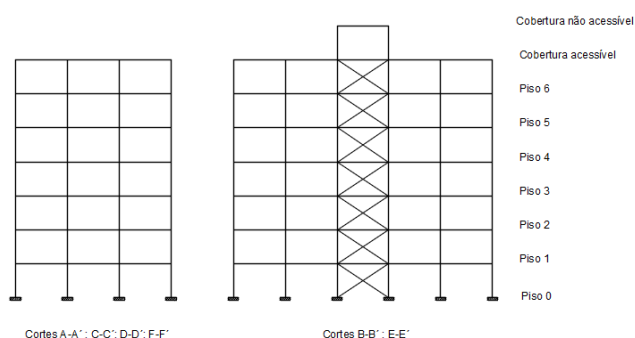


Fig. 3.1.b) Representação esquemática dos cortes referenciados na fig. 3.1.1.a)

Nota1: Relativamente às figuras anteriores (Figs. 3.1.a) e 3.1.b) ), importa ressaltar que , a distância entre pilares é de 5 m e a distância entre pisos de 3.3 m.

Nota 2: Relativamente à representação esquemática da cobertura dos acessos, não é relevante, na medida que, como o próprio nome indica, só cobre o fosso das escadas, localizado no centro do edifício, visível na Fig. 3.1.a).

Nota 3 : Para evitar a colocação de vigas de fundação, o que implicaria uma maior quantidade de materiais na estrutura, e, não sendo relevante para o presente estudo, resolveu-se que o tipo de apoio seria encastramento, visível na Fig. 3.1.b).

#### Pormenorização construtiva

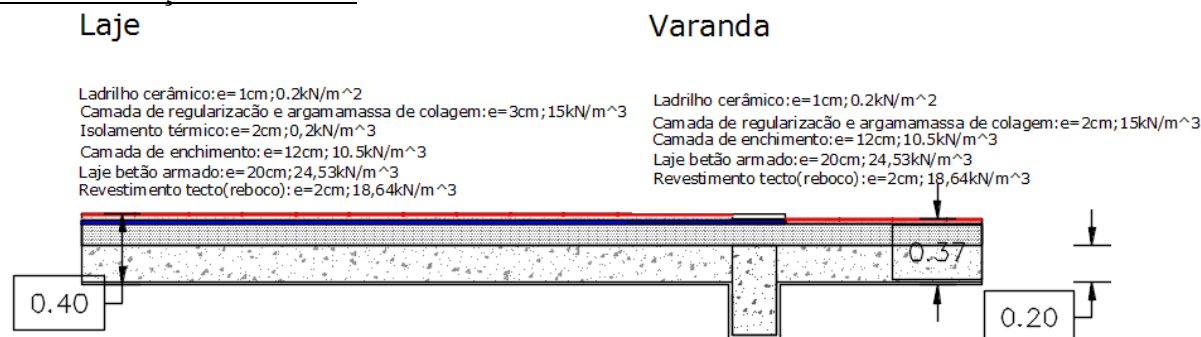


Fig. 3.2.a) Representação esquemática dos pormenores construtivos das lajes e varandas

**Paredes exteriores**  
 Reboco interior:  $e=2\text{cm}; 18,64\text{kN/m}^3$   
 Tijolo cerâmico de  $30\times 20\times 11$  :  $6,18\text{ kN/m}^3$   
 Isolamento térmico :  $e=2\text{cm}; 0,2\text{ kN/m}^3$   
 caixa-de-ar:  $e=4\text{cm}$   
 Tijolo cerâmico de  $30\times 20\times 11$  :  $6,18\text{ kN/m}^3$   
 Reboco exterior:  $e=2\text{cm}; 18,64\text{kN/m}^3$

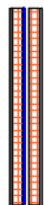


Fig.3.2.b) Representação esquemática dos pormenores construtivos das paredes exteriores

**Paredes dos acessos elevatórios**  
 Reboco interior:  $e=2\text{cm}; 18,64\text{kN/m}^3$   
 Tijolo cerâmico de  $30\times 20\times 15$  :  $6,08\text{ kN/m}^3$   
 Reboco exterior:  $e=2\text{cm}; 18,64\text{kN/m}^3$

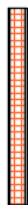


Fig.3.2.c) Representação esquemática dos pormenores construtivos das paredes dos acessos elevatórios

**Paredes interiores**  
 Reboco interior:  $e=1\text{cm}; 18,64\text{kN/m}^3$   
 Tijolo cerâmico de  $30\times 20\times 7$  :  $8,03\text{ kN/m}^3$   
 Reboco exterior:  $e=1\text{cm}; 18,64\text{kN/m}^3$



Fig.3.2.d) Representação esquemática dos pormenores construtivos das paredes interiores

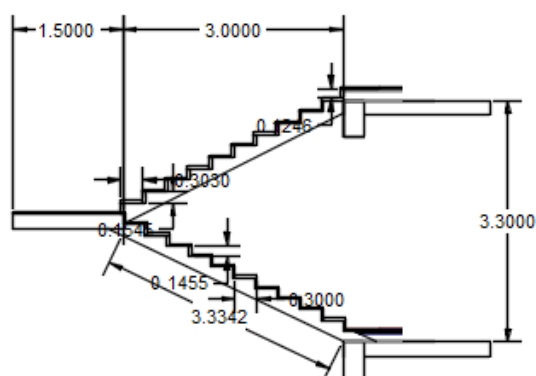


Fig. 3.3.a) Representação esquemática dos pormenores construtivos das escadas (corte)

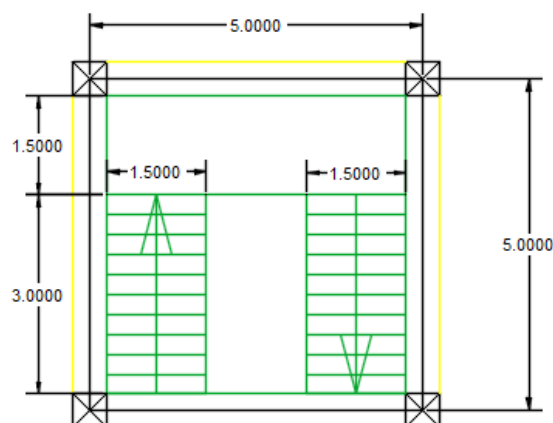


Fig. 3.3.b) Representação esquemática das escadas (planta)

## Materiais estruturais

### Betão

Considerou-se que seria usado um betão da classe C30/37, com as seguintes propriedades mecânicas:

Quadro 3.1. Características mecânicas do betão de classe C 30/37, segundo a NP EN 1992-1-1:2010

Módulos de elasticidade			Peso específico ( $\text{kN/m}^3$ )	Coef. de expansão térmica ( $1/^\circ\text{C}$ )	Coef. de amortecimento	Resistência à compressão	
Módulo de Young ( $\text{E\_GPa}$ )	Coefficiente de Poisson ( $\nu$ )	Módulo de distorção ( $\text{G\_GPa}$ )				Tipo de provete	$f_{ck}$ (MPa)
33	0,2	13,33	24,53	0,00001	0,4	cilíndrico	30

### Armadura

Considerou-se que seria usado um aço da classe A500 NR SD, com as seguintes propriedades mecânicas:

Quadro 3.2. Características mecânicas do aço de classe A 500 NR SD , segundo as fichas técnicas de : Armazéns de ferro , J.Souares correia, S.A.”.

Aço da classe A 500 NR SD			Tensão de cedência ( $f_{yd}$ ) (Mpa)	Tensão de rotura ( $f_{yk}$ ) (Mpa)	Extensão de cedência ( $\epsilon_{yd}$ ) (%)	Extensão de rotura ( $\epsilon_{yk}$ ) (%)
Processo de fabrico	Configuração da superfície	Característica de aderência				
Laminado a quente	Rugosa	Alta	500	575	8	12

### 3.2. Descrição do “software” de cálculo

O “Autodesk Robot Structural Analysis” [53] é um “software” avançado de análise de estruturas, disponibilizado pela “Autodesk, Inc”. O “software” permite a análise estrutural e a simulação de desempenho em situações correntes e também a manipulação e a visualização espacial do projecto antes da sua concretização. A definição da estrutura pode ser inserida através de ficheiro de autocad \*.dwg ou \*.dxf. Podem também ser importados ficheiros \*.ifc, \*.sdnf (“steel detailing neutral file”). Ainda assim o Robot possui ferramentas próprias para a definição da estrutura o que permite a sua utilização de forma completamente isolada e independente.

Além da criação do modelo e cálculo estrutural, o Robot permite o dimensionamento estrutural de acordo com mais de 50 códigos (incluindo os Eurocódigos) e permite também a preparação da documentação relacionada com o projecto da estrutura, incluindo desenhos, esforços e quantidades. Este “software” possui 24 módulos diferentes que permitem modelar vários tipos de estruturas (betão armado; estruturas metálicas; etc.) [40].

Em suma, o “software” de cálculo estrutural “Autodesk Robot Structural Analysis” faculta aos engenheiros de estruturas capacidades avançadas de simulação e de análise de estruturas grandes e complexas. O “software” oferece um fluxo de trabalho homogéneo, possibilitando aos engenheiros a execução mais rápida da simulação e da análise de uma grande diversidade de estruturas.

- Demonstração de algumas funcionalidades do “Autodesk Robot Structural Analysis”

Inicialmente importa discriminar o algoritmo da utilização do “software” de cálculo estrutural até à obtenção das quantidades de armadura:

1. Introdução dos dados relativos aos vários elementos estruturais ( secções, material, etc.)
2. Desenhar a estrutura (“drag-in” ortonormado do elemento estrutural)
3. Determinar os tipos de acções que se irão aplicar à estrutura
4. Aplicar as várias acções nos correspondentes elementos estruturais.
5. Realizar as várias combinações de acções requeridas pelas NP EN 1992-1-1:2010 e NP EN 1998-1
6. Realizar os cálculos de esforços
7. Definição dos parâmetros de pré-dimensionamento da armadura para os vários elementos estruturais, segundo a NP EN 1992-1-1:2010
8. Pré-dimensionamento da armadura para os vários elementos estruturais
9. Dimensionamento da armadura para os vários elementos estruturais
10. Leitura das quantidades dos materiais dos vários elementos estruturais que verificam os vários estados limite

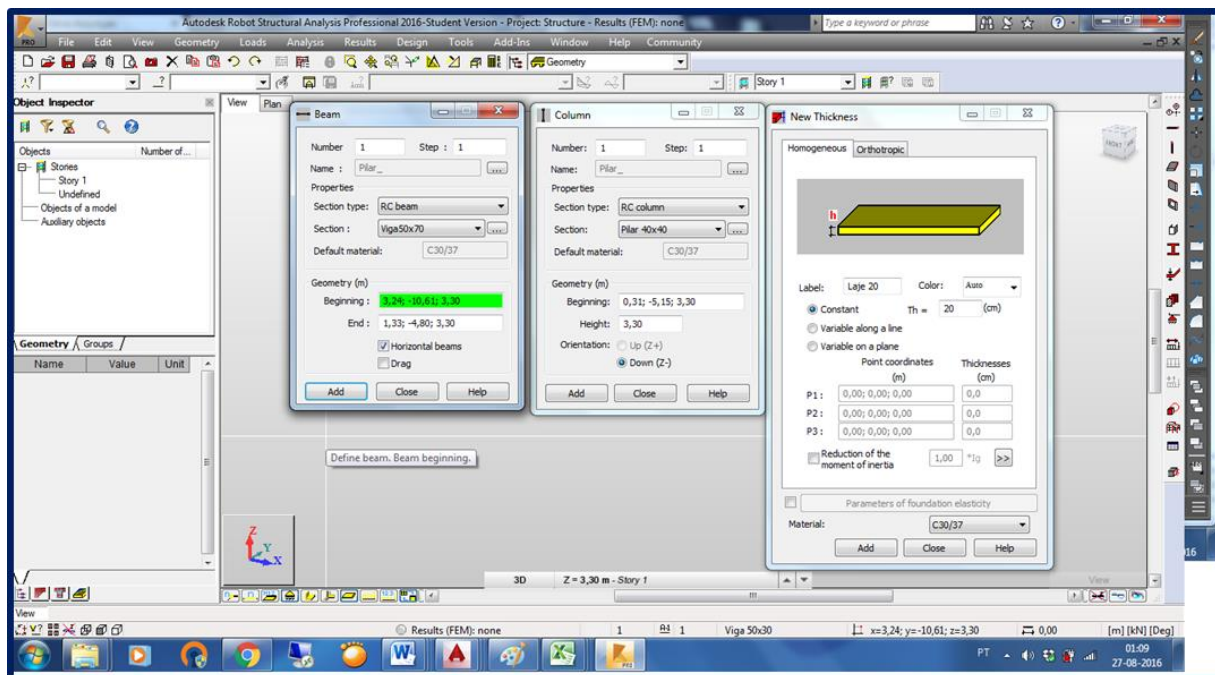


Fig. 3.4.a) Imagem do ambiente de trabalho do “software” de cálculo estrutural “ROBOT” e visualização do exposto no 1º passo de algoritmo da utilização do mesmo.

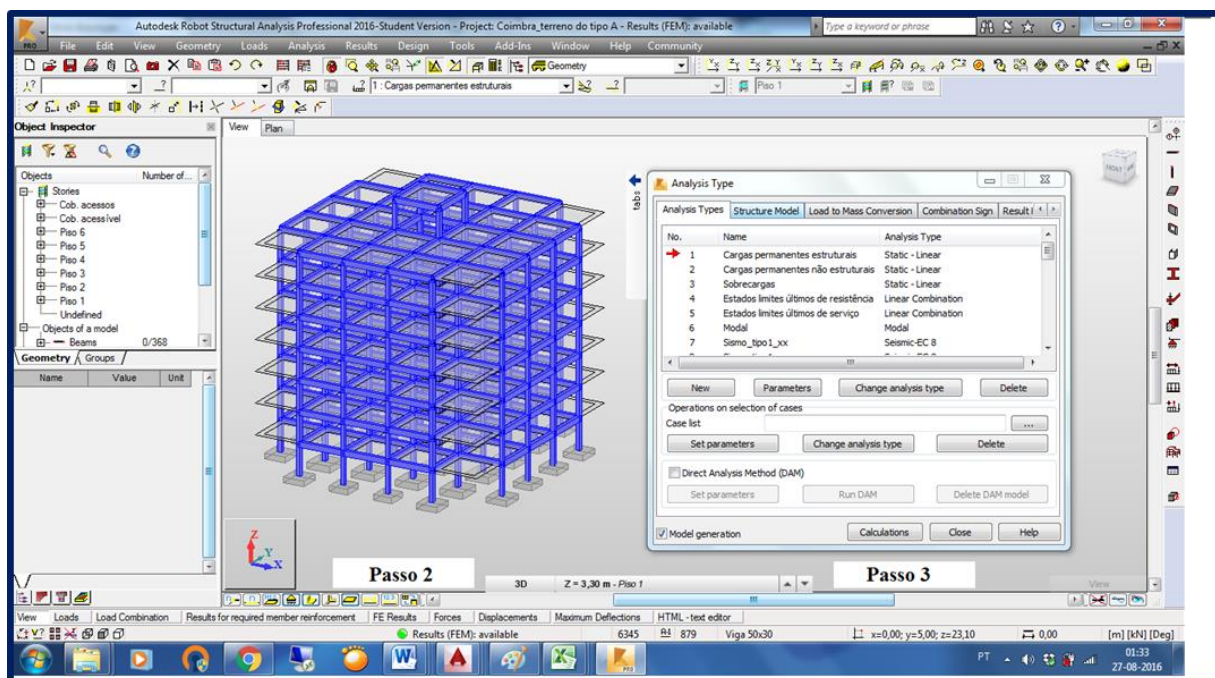


Fig. 3.4.b) Imagem do exposto nos 2º e 3º passos do algoritmo da utilização do “software” de cálculo estrutural “ROBOT”.



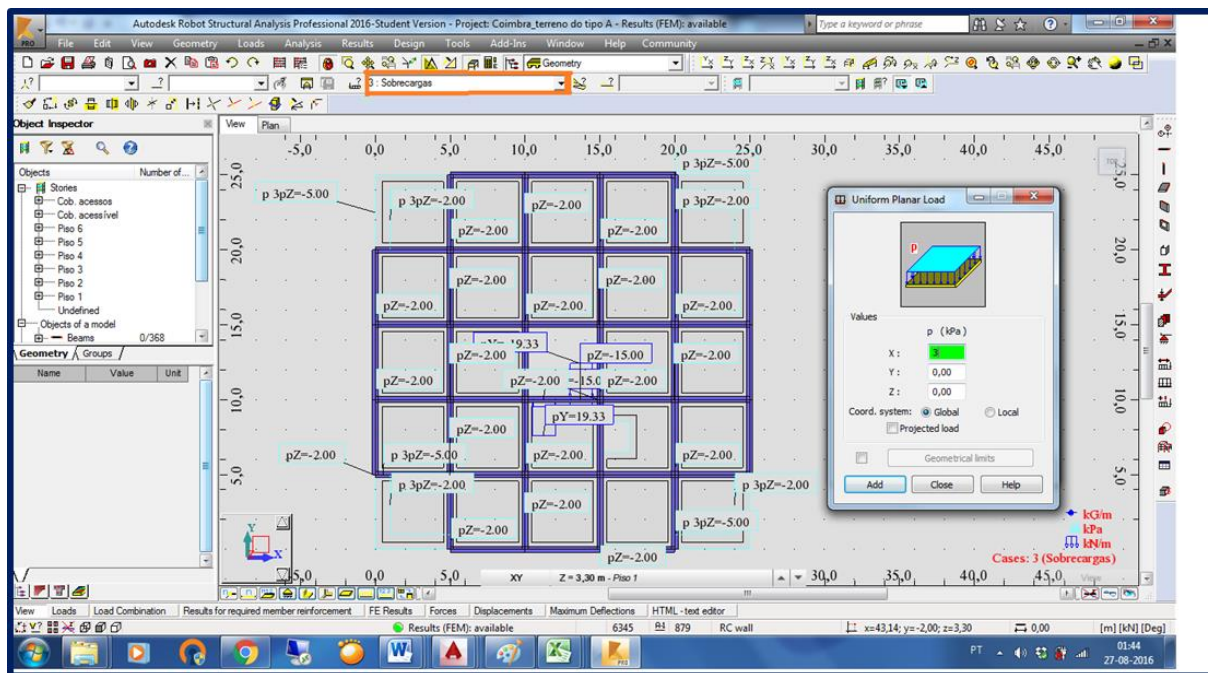


Fig. 3.4.c) Imagem do exposto no 4º passo do algoritmo da utilização do “software” de cálculo estrutural “ROBOT”.

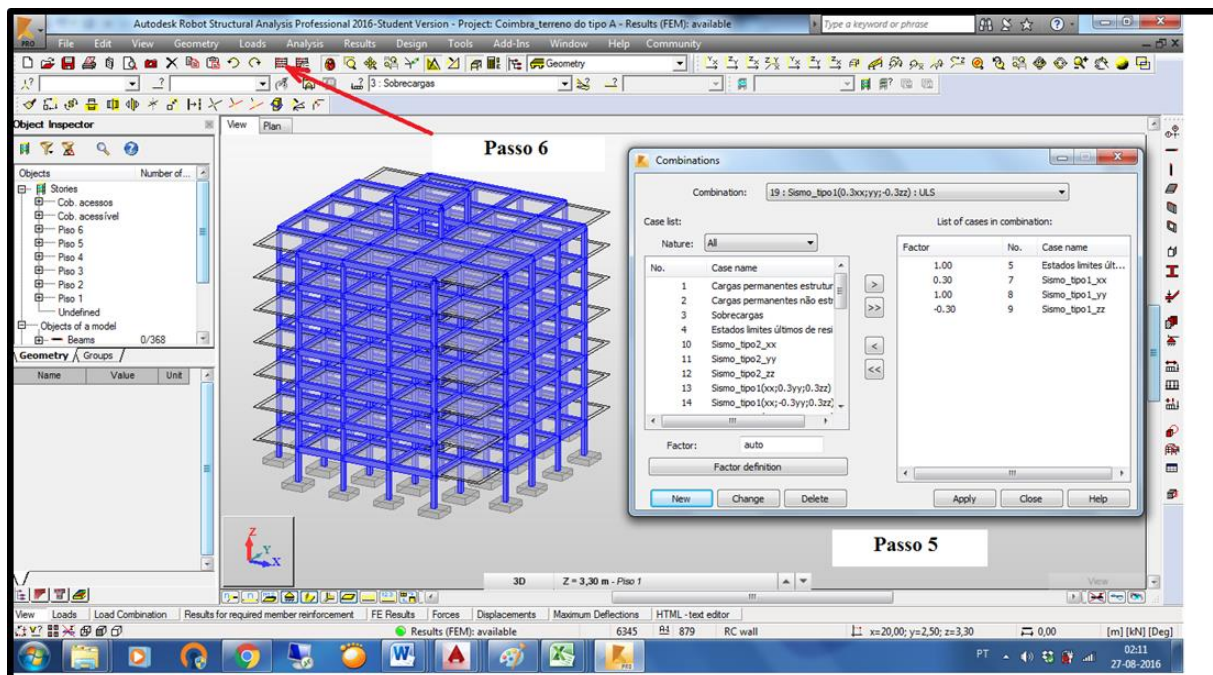


Fig. 3.4.d) Imagem do exposto nos 5º e 6º passos do algoritmo da utilização do “software” de cálculo estrutural “ROBOT”.

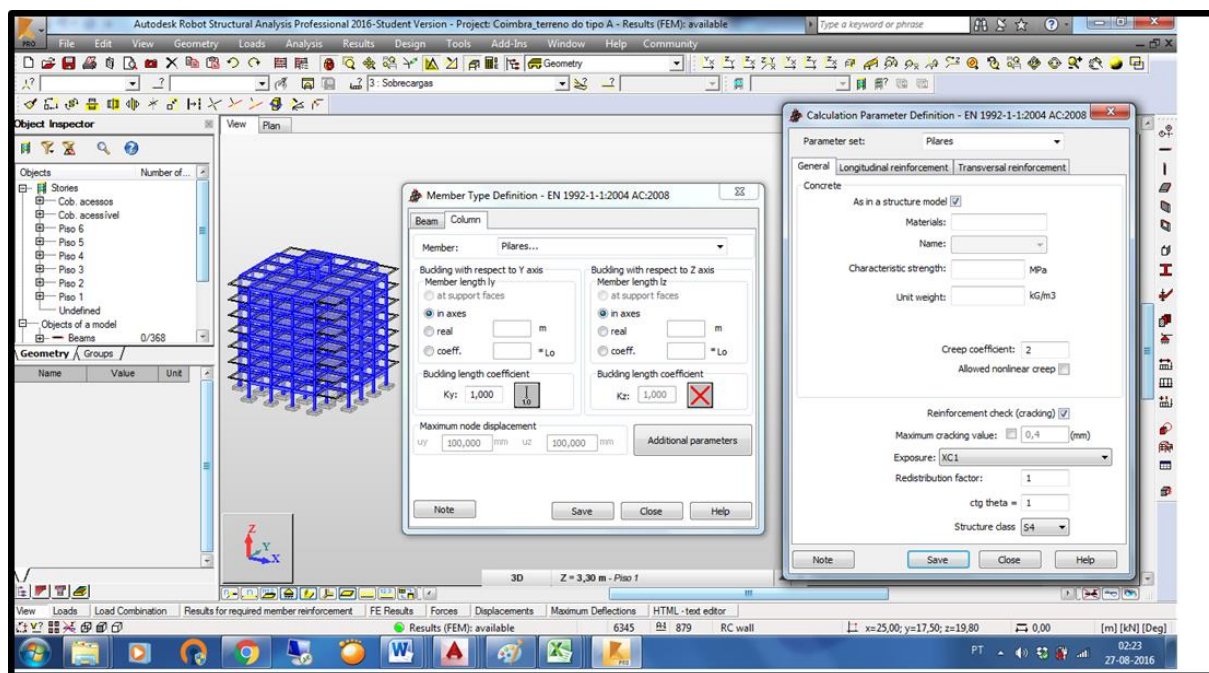


Fig. 3.4.e) Imagem do exposto no 7º passo do algoritmo da utilização do “software” de cálculo estrutural “ROBOT”.

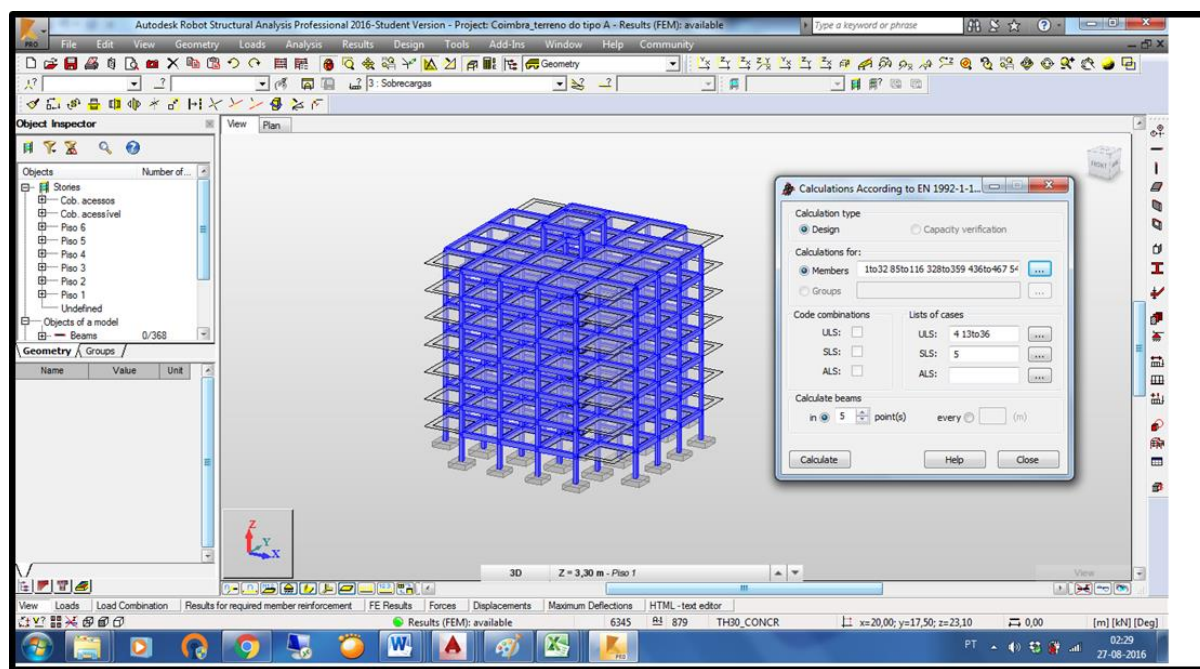


Fig. 3.4.f) Imagem do exposto no 8º passo do algoritmo da utilização do “software” de cálculo estrutural “ROBOT”.



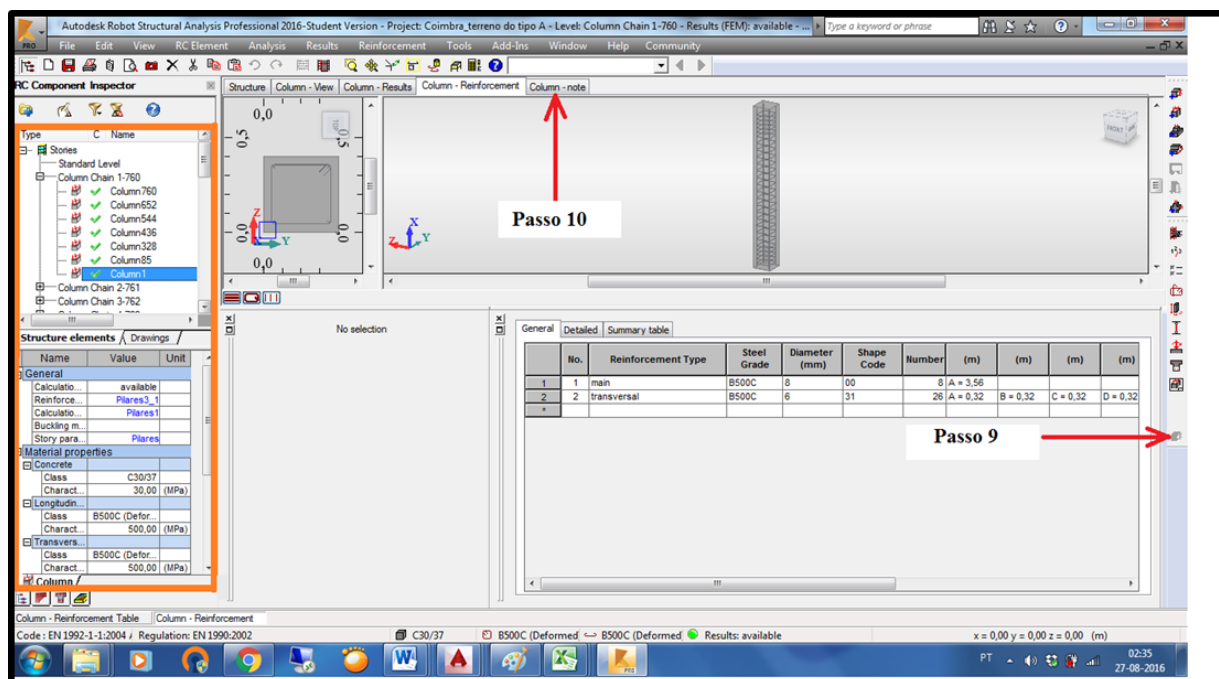


Fig. 3.4.g) Imagem do exposto nos 9º e 10º passos do algoritmo da utilização do “software” de cálculo estrutural “ROBOT”.

- Teste preliminar do programa utilizado

Para aprender de forma sustentada a utilizar o programa “Autodesk Robot Structural Analysis”, numa fase inicial definiu-se e analisou-se uma estrutura simples. Este procedimento foi também necessário para aumentar a sensibilidade do utilizador aos resultados obtidos. Para cumprir estes objectivos realizou-se uma comparação de resultados usando o referido programa e usando determinados métodos mais simples:

- “Tabelas de Barès”, Esforços e Flechas Elásticas em Lajes [35].
- “Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2016”.
- “FTOOL 3.00”, “software” de cálculo bidimensional de esforços [54].

Neste processo houve uma primeira fase, para análise de momentos na laje e, posteriormente, uma segunda fase para a análise de momentos no pórtico.

No Anexo I, estão evidenciados todos os pressupostos deste teste.



## 4. MODELAÇÃO DA ESTRUTURA CORRENTE EM BETÃO ARMADO E QUANTIFICAÇÃO DA ACÇÃO SÍSMICA

Tendo já sido feita uma descrição da estrutura a ser analisada, dos pormenores construtivos e dos materiais a serem utilizados nos vários elementos estruturais, resta modelar esta estrutura no “*software*” de cálculo estrutural “*Robot*”, com a finalidade de analisar os efeitos do sismo na mesma. Nesta análise serão observados a variação de esforços e o custo da estrutura. A acção sísmica será quantificada de acordo com os pressupostos definidos na NP EN 1998-1.

### 4.1 Casos de estudo considerados para avaliar a variação do efeito da acção sísmica

Para uma análise de esforços e económica da estrutura sujeita à acção sísmica, resolveu-se estudar os seguintes casos :

- Estrutura erigida num terreno do tipo A, não considerando a acção sísmica
- Estrutura erigida num terreno do tipo D, não considerando a acção sísmica
- Estrutura localizada em Bragança e construída num terreno do tipo A, considerando a acção sísmica
- Estrutura localizada em Bragança e construída num terreno do tipo D, considerando a acção sísmica
- Estrutura localizada em Coimbra e construída num terreno do tipo A, considerando a acção sísmica
- Estrutura localizada em Coimbra e construída num terreno do tipo D, considerando a acção sísmica
- Estrutura localizada em Santarém e construída num terreno do tipo A, considerando a acção sísmica
- Estrutura localizada em Santarém e construída num terreno do tipo D, considerando a acção sísmica
- Estrutura localizada em Lisboa e construída num terreno do tipo A, considerando a acção sísmica
- Estrutura localizada em Lisboa e construída num terreno do tipo D, considerando a acção sísmica
- Estrutura localizada em Lagos e construída num terreno do tipo A, considerando a acção sísmica
- Estrutura localizada em Lagos e construída num terreno do tipo D, considerando a acção sísmica

**Legenda:**

- 1-Bragança
- 2-Coimbra
- 3-Santarém
- 4-Lisboa
- 5-Lagos

Fig. 4.1. Localização geográfica das localidades em estudo

**4.2. Análise de projecto da edificação pelo NP EN 1998-1:****4.2.1. Determinação do coeficiente de importância ( $\gamma_I$ )**

Como se trata de uma edificação para habitação está projectada para um tempo de vida útil de 50 anos, a NP EN 1998-1, em 3.2.1.(3) e 4.2.5.(5), prevê que o coeficiente de importância seja  $\gamma_I = 1$ .

**4.2.2. Determinação da sismicidade zonal**

Tendo em atenção ao referido em NA-3.2.1(4) e N.A. 3.2.1.(5) da NP EN 1998-1, determinou-se a sismicidade zonal para os locais e tipos de terreno em estudo, indicadas no Quadro 4.1. É de referir que por 3.2.1.(5) da NP EN 1998-1, “em casos de muito baixa sismicidade, não é necessário respeitar as disposições da NP EN 1998-1”.

Quadro 4.1. Determinação da sismicidade zonal para os locais e tipos de terreno em estudo, em termos de  $a_g * S_{\text{tipo}}$

Portugal Continental	Aceleração de cálculo $a_{gR}$ (m/s <sup>2</sup> )		Tipo de terreno									
Designação	Acção sísmica do tipo I	Acção sísmica do tipo II	A					D				
			$a_g * S_{\text{tipoI}}$	$a_g * S_{\text{tipoII}}$	$S_{\text{tipoI}}$	$S_{\text{tipoII}}$	Sismicidade	$a_g * S_{\text{tipoI}}$	$a_g * S_{\text{tipoII}}$	$S_{\text{tipoI}}$	$S_{\text{tipoII}}$	Sismicidade
Lagos	2,5	1,7	2,5	1,7	1	1	S	3,75	3,01	1,5	1,77	S
Lisboa	1,5	1,7	1,5	1,7	1	1	S	2,745	3,01	1,83	1,77	S
Santarém	0,6	1,7	0,6	1,7	1	1	B.S.	1,2	3,01	2	1,77	S
Coimbra	0,35	1,1	0,35	1,1	1	1	M.B.S.	0,7	2,17	2	1,97	B.S.
Bragança	0,35	0,8	0,35	0,8	1	1	M.B.S.	0,7	1,6	2	2	B.S.

Notas :

- i) Valores de  $a_{gR}$  definidos pela Fig. I do N.A., (zonamento sísmico em Portugal continental) e pela lista de Concelhos com definição do zonamento sísmico definida no Anexo Nacional
- ii) Pelas expressões de 3.2.2.2.(1) da NP EN 1998-1,  $a_g$  valor de cálculo da aceleração à superfície para um terreno do tipo A ( $a_g = \gamma_I * a_{gR}$ ), sendo  $\gamma_I = 1$
- iii) O valor dos parâmetros S foram retirados do NA 3.2.2.(2).

### 4.2.3. Determinação do coeficiente de comportamento

Para a determinação do coeficiente de comportamento, é necessário ter em conta que:

- A resistência e da capacidade de dissipação de energia a conferir à estrutura dependem da extensão em que se recorre ao seu comportamento não linear (ver 2.2(2) e Nota de 2.2.2.(2) da NP EN 1998-1)
- Existem critérios para edifícios de regularidade em planta com vários pisos (ver 4.2.3.2 (8), alíneas a) e b) da NP EN 1998-1)

#### Coeficiente de comportamento para as acções sísmicas horizontais

Para o cálculo do coeficiente da acção sísmica horizontal, a NP EN 1998-1 prescreve uma série de condições em 5.2.2.2.(1), 5.2.2.2.(2), 5.2.2.2.(5), 5.2.2.2.(6), 5.2.2.2.(8), 5.2.2.2.(11) e 5.2.2.2.(12). Para o mesmo cálculo é necessário determinar a classe de ductilidade de projecto para a edificação. Para o projecto para a classe “*Ductility Class Medium*”, os requisitos relativos aos materiais estão especificados em 5.4.1.1 (1), 5.4.1.1 (2), 5.4.1.1 (3) e 5.4.1.1 (4), as restrições geométricas relativas às vigas estão especificadas em 5.4.1.2.1(2) e 5.4.1.2.1(3) e as restrições geométricas relativas aos pilares estão especificadas em 5.4.1.2.2(1) da NP EN 1998-1. Para o projecto para a classe “*Ductility Class High*”, os requisitos relativos aos materiais estão especificados em 5.5.1.1 (1), 5.4.1.1 (2) e 5.4.1.1 (3), as limitações geométricas relativas às vigas estão especificadas em 5.5.1.2.1(1), 5.5.1.2.1(2), 5.5.1.2.1(3), 5.5.1.2.1(4) e 5.5.1.2.1(5) e as limitações geométricas relativas aos pilares estão especificadas em 5.5.1.2.2(1) e 5.5.1.2.2(2) da NP EN 1998-1.

#### *Considerações para os casos em estudo:*

- Todas as estruturas/modelos, são do tipo dissipativo.
- Considera-se que a estrutura em análise é um sistema do tipo porticado
- $k_w=1$
- Utilizar-se-á betão da classe C30/37.
- Utilizar-se-á varões nervurados nas armaduras.
- Utilizar-se-á varões nervurados da classe A 500 NR SD.
- Não existe excentricidade viga/pilar, para todos os casos em análise.
- Pilares quadrados
- Lajes vigadas
- Largura das vigas é igual à dimensão da secção dos pilares
- Admitindo que o ponto de inflexão do pilar se dará, sensivelmente a meio da altura do pilar, e tendo estes uma altura de 3,3m, teremos :
  - i) Altura de inflexão (hipotética)=  $3,3/2=1,65$  m.
  - ii) Altura de inflexão (hipotética)/10=  $1,65/10=0,165$ .
  - iii) Dimensão mínima dos pilares = 0,3
  - iv) Conclusão : Como  $0,3 > 0,165$ , Ok.

Na fase de pré-projecto, verifica-se que a estrutura verifica os requisitos dos materiais e restrições geométricas para uma possível classe de ductilidade MÉDIA ou ALTA.

Como o projecto para uma classe de ductilidade Alta envolve uma quantidade de materiais mais elevada do que o projecto para uma classe de ductilidade Média, e não sendo relevante para o estudo em questão, considerar-se-á que os projectos aqui realizados corresponderão a uma classe de ductilidade Média.

$$\text{Coeficiente de comportamento para as acções sísmicas horizontais,} \\ q = 0,8 * 3 * 1,3 * 1 \geq 1,5 = 3,12$$

Nota : A redução de 20% no valor do coeficiente de comportamento deve-se à consideração da pequena irregularidade em altura proporcionada pelos caixa-de-escadas acessos entre os pisos 6º e a cobertura acessível. (ver também 4.2.6.2. da NP EN 1998-1)

#### Coeficiente de comportamento para as acções sísmicas verticais

Em 3.2.2.2.5.(6) da NP EN 1998-1 estabelece-se que deve adoptar-se para todos os materiais e para todos os sistemas estruturais um coeficiente de comportamento  $q$  não superior a 1,5 para a componente vertical da acção sísmica.

#### **4.2.4. Acção sísmica: Definição do espectro de resposta elástica**

##### Zonas sísmicas

Para a definição do tipo de acção sísmica a utilizar, a NP EN 1998-1, prescreve em NA-3.2.2.1(4) que no dimensionamento das estruturas em Portugal Continental devem ser considerados os dois tipos de acção sísmica: acção sísmica do tipo I e acção sísmica do tipo II.

Observando a Fig. I do N.A. da NP EN 1998-1 (zonamento sísmico em Portugal continental), e a lista de Concelhos com definição do zonamento sísmico definida no Anexo Nacional da NP EN 1998-1, foi definido o Quadro 4.2. com as acelerações máximas de referência.

Quadro 4.2. Zonamento sísmico para a acção sísmica do tipo I e II e respectiva aceleração máxima de referência à superfície do terreno.

Concelhos de Portugal Continental	Acção sísmica			
	Tipo 1		Tipo 2	
	Zona sísmica	Aceleração $a_{gR}$ ( $m/s^2$ )	Zona sísmica	Aceleração $a_{gR}$ ( $m/s^2$ )
Lagos	1.1	2,5	2.3	1,7
Lisboa	1.3	1,5	2.3	1,7
Santarém	1.5	0,6	2.3	1,7
Coimbra	1.6	0,35	2.4	1,1
Bragança	1.6	0,35	2.5	0,8

#### Espectro de resposta elástica horizontal :

##### *Coeficientes de cálculo*

Para a definição dos coeficientes de cálculo do Espectro de resposta elástica horizontal, a NP EN 1998-1 prescreve os requisitos especificados em 3.2.2.2.(1) e em N.A. 3.2.2.2.(2) .

Quadro 4.3.a) Valores dos parâmetros definidores do espectro de resposta elástico para a Acção sísmica Tipo 1 (Quadro NA-3.2. NP EN 1998-1)

Tipo de terreno	$S_{max}$	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)
A	1	0,1	0,6	2
B	1,35	0,1	0,6	2
C	1,6	0,1	0,6	2
D	2	0,1	0,8	2
E	1,8	0,1	0,6	2

Quadro 4.3.b) Valores dos parâmetros definidores do espectro de resposta elástico para a Acção sísmica Tipo 2 (Quadro NA-3.3. NP EN 1998-1)

Tipo de terreno	$S_{max}$	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)
A	1	0,1	0,25	2
B	1,35	0,1	0,25	2
C	1,6	0,1	0,25	2
D	2	0,1	0,3	2
E	1,8	0,1	0,25	2

*Valores de cálculo da resposta elástica horizontal*

Quadro 4.4.a) Valores de cálculo da resposta elástica horizontal para uma acção sísmica do tipo 1

Portugal Continental	Aceleração de cálculo $a_g$ (m/s <sup>2</sup> ) Acção sísmica do tipo I	Tipo de terreno							
		A				D			
		S	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)	S	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)
Lagos	2,5	1	0,1	0,6	2	1,5	0,1	0,8	2
Lisboa	1,5	1	0,1	0,6	2	1,83	0,1	0,8	2
Santarém	0,6	1	0,1	0,6	2	2	0,1	0,8	2
Coimbra	0,35	1	0,1	0,6	2	2	0,1	0,8	2
Bragança	0,35	1	0,1	0,6	2	2	0,1	0,8	2

Quadro 4.4.b) Valores de cálculo da resposta elástica horizontal para uma acção sísmica do tipo 2

Portugal Continental	Aceleração de cálculo $a_g$ (m/s <sup>2</sup> ) Acção sísmica do tipo II	Tipo de terreno							
		A				D			
		S	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)	S	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)
Lagos	1,7	1	0,1	0,25	2	1,77	0,1	0,3	2
Lisboa	1,7	1	0,1	0,25	2	1,77	0,1	0,3	2
Santarém	1,7	1	0,1	0,25	2	1,77	0,1	0,3	2
Coimbra	1,1	1	0,1	0,25	2	1,97	0,1	0,3	2
Bragança	0,8	1	0,1	0,25	2	2	0,1	0,3	2

*Espectro de resposta elástica vertical:**Coefficientes de cálculo*

Para a definição dos coeficientes de cálculo do Espectro de resposta elástica horizontal, a NP EN 1998-1 prescreve os requisitos especificados em Nota de 3.2.2.3., 3.2.2.(5) e em N.A. 3.2.2.3.(1) .

Quadro 4.5. Parâmetros de cálculo da resposta elástica vertical para uma acção sísmica do tipo 1 e do tipo 2

Acção sísmica	$a_{vg}/a_g$	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)
Tipo I	0,75	0,05	0,25	1
Tipo II	0,95	0,05	0,15	1

*Valores de cálculo da resposta elástica vertical*

Quadro 4.6. Valores de cálculo da resposta elástica vertical para uma acção sísmica do tipo 1 e do tipo 2.

Portugal Continental	Aceleração de cálculo $a_g$ ( $m/s^2$ )		Parâmetros para a acção sísmica do tipo I				Parâmetros para a acção sísmica do tipo II			
	Acção sísmica do tipo I	Acção sísmica do tipo II	$a_{vg}$	$T_B(s)$	$T_C(s)$	$T_D(s)$	$a_{vg}$	$T_B(s)$	$T_C(s)$	$T_D(s)$
Lagos	2,5	1,7	1,875	0,05	0,25	1	1,615	0,05	0,15	1
Lisboa	1,5	1,7	1,125	0,05	0,25	1	1,615	0,05	0,15	1
Santarém	0,6	1,7	0,45	0,05	0,25	1	1,615	0,05	0,15	1
Coimbra	0,35	1,1	0,263	0,05	0,25	1	1,045	0,05	0,15	1
Bragança	0,35	0,8	0,263	0,05	0,25	1	0,76	0,05	0,15	1

**4.2.5. Utilização do Método de análise modal por espectro de resposta**Critérios de regularidade estrutural

Para a definição do método de análise, a NP EN 1998-1, impõe critérios de regularidade estrutural em 4.2.3.1(1) e 4.2.3.1 (2).

Quadro 4.7. Consequências da regularidade estrutural na análise e no cálculo sísmico.  
( Quadro 4.1. da NP EN 1998-1-1)

Regularidade		Simplificação permitida		Coef. Comportamento
Planta	Altura	Modelo estrutural	Análise elástica linear	
Sim	Sim	Plano	Estática (forças horizontais)	Valor de referência
Sim	Não	Plano	Dinâmica	Valor reduzido em 20%
Não	Sim	Espacial	Estática (forças horizontais)	Valor de referência
Não	Não	Espacial	Dinâmica	Valor reduzido em 20%

Métodos de análise estrutural

Para a utilização do método de análise linear, a NP EN 1998-1, impõe critérios em 4.3.3.1 (3), alíneas a) e b), em função das características estruturais do edifício.

Para a utilização do método de análise modal por espectro de resposta, a NP EN 1998-1, impõe critérios em 4.3.3.3.1(1), 4.3.3.3.1.(3) e 4.3.3.3.1.(4), em função das massas modais efectivas.



Quadro 4.8. Resultados da análise modal por espectro de resposta das estruturas.

Estrutura	Modo	Frequência (Hz)	Período (s)	Massa relativa U <sub>x</sub> (%)	Massa relativa U <sub>y</sub> (%)	Massa relativa U <sub>z</sub> (%)	Massa corrente U <sub>x</sub> (%)	Massa corrente U <sub>y</sub> (%)	Massa corrente U <sub>z</sub> (%)	Massa total U <sub>x</sub> (kg)	Massa total U <sub>y</sub> (kg)	Massa total U <sub>z</sub> (kg)
Bragança_terreno do tipo A	5	2,588	0,386	94,064	94,065	0	1,094	8,643	0	5462561,18	5462561	5462561,2
Bragança_terreno do tipo D	5	2,588	0,386	94,064	94,065	0	1,094	8,643	0	5462561,18	5462561	5462561,2
Coimbra_terreno do tipo A	5	2,588	0,386	94,064	94,065	0	1,094	8,643	0	5462561,18	5462561	5462561,2
Coimbra_terreno do tipo D	5	2,588	0,386	94,064	94,065	0	1,094	8,643	0	5462561,18	5462561	5462561,2
Santarém_terreno do tipo A	5	2,588	0,386	94,064	94,065	0	1,094	8,643	0	5462561,18	5462561	5462561,2
Santarém_terreno do tipo D	5	2,588	0,386	94,064	94,065	0	1,094	8,643	0	5462561,18	5462561	5462561,2
Lisboa_terreno do tipo A	5	2,588	0,386	94,064	94,065	0	1,094	8,643	0	5462561,18	5462561	5462561,2
Lisboa_terreno do tipo D	5	3,645	0,274	93,751	93,752	0	0,105	9,828	0	6126333,1	6126333	6126333,1
Lagos_terreno do tipo A	5	2,588	0,386	94,064	94,065	0	1,094	8,643	0	5462561,18	5462561	5462561,2
Lagos_terreno do tipo D	5	4,887	0,205	93,81	93,811	0	0,146	9,99	0	7193304,87	7193305	7193304,9

Nota : Cálculos efectuados pelo “Autodesk Robot Structural Analysis”

Verifica-se que a *Análise Modal por Espectro de resposta Espacial* cumpre os requisitos quanto ao método de análise dinâmica, indo de encontro a todos os pressupostos de cálculo fornecidos pelo “software” computacional de análise estrutural “Autodesk Robot Structural Analysis”. Há ainda a salientar o facto da não existência de necessidade de verificação dos critérios de regularidade em planta e regularidade em altura. Ressalva-se que o coeficiente de comportamento, neste caso tem o seu valor reduzido em 20%.

#### 4.2.6. Combinação dos efeitos das componentes da acção sísmica

##### Inércia da acção sísmica de cálculo

A NP EN 1998-1, em 3.2.4.(2)P prevê que as massas associadas a todas as forças gravíticas surgem na seguinte combinação de acções:

$$\Sigma G_{k,j} + \Sigma \psi_{E,i} \cdot Q_{k,i}$$

em que  $\psi_{E,i}$  coeficiente de combinação para a acção variável  $i$

$$\psi_{E,i} = \varphi \cdot \psi_{2,i}$$

em que os valores de  $\psi_{2,i}$  são apresentados na NP EN 1990:2009 [32].

Quadro 4.9. Valores de  $\varphi$  para calcular  $\psi_{E,i}$  (ver Quadro 4.2. da NP EN 1998-1-1)

Tipo de acção variável	Piso	$\varphi$
Categorias A-C*	Cobertura	1
	Pisos com ocupações correlacionadas	0,8
	Pisos com ocupações independentes	0,5
Categorias D-F* e arquivos		1

Assim sendo, visto que se trata de um edifício destinado à habitação, logo categoria A, em que todos os pisos têm ocupações correlacionadas (habitação), em que a análise (para efeitos da presente dissertação/projecto) será global e não por elemento estrutural, tem como valores de coeficientes de conversão de massas para a acção sísmica de cálculo:

- Cargas gravíticas : 1
- Sobrecargas : 0,3

### Componentes horizontais da acção sísmica

A NP EN 1998-1, em 4.3.3.5.1.(3) define as combinações das componentes horizontais da acção sísmica da seguinte forma:

- a)  $E_{Edx} "+" 0,30E_{Edy}$
- b)  $0,30E_{Edx} "+" E_{Edy}$

em que:

*"+" significa "a combinar com";*

*$E_{Edx}$  representa os esforços devidos à aplicação da acção sísmica segundo o eixo horizontal  $x$  escolhido para a estrutura;*

*$E_{Edy}$  representa os esforços devidos à aplicação da mesma acção sísmica segundo o eixo horizontal ortogonal  $y$  da estrutura".*

### Componentes verticais da acção sísmica

A NP EN 1998-1, impõe a consideração da componente vertical da acção sísmica no caso de a aceleração sísmica ser superior a  $2,5 \text{ m/s}^2$ , nos casos indicados em 4.3.3.5.2. (1). A NP EN 1998-1, em 4.3.3.5.2.(4), define ainda que, se as componentes horizontais da acção sísmica também forem relevantes para estes casos, poderão utilizar-se as três combinações seguintes para o cálculo dos esforços:

- a)  $E_{Edx} "+" 0,30 E_{Edy} "+" 0,30 E_{Edz}$
- b)  $0,30 E_{Edx} "+" E_{Edy} "+" 0,30 E_{Edz}$
- c)  $0,30 E_{Edx} "+" 0,30 E_{Edy} "+" E_{Edz}$

em que:

*"+" significa "a combinar com";*

*$E_{Edx}$  e  $E_{Edy}$  como em 4.3.3.5.1(3);*

*$E_{Edz}$  representa os esforços devidos à aplicação da componente vertical da acção sísmica de cálculo".*

Assim sendo, ir-se-ão (por questões de comodidade de introdução de valores no "software" computacional de cálculo de esforços na estrutura, além das faculdades que o "software" possui) utilizar as combinações explícitas em 4.3.3.5.2.(4), para todos os elementos estruturais e no que se refere a todos os locais onde ir-se-á localizar a edificação.

Quadro 4.10. Combinações de acções de cálculo a aplicar nos modelos estruturais em estudo

Combinações	Nome	Tipo de combinação	Definição
1	Carga gravítica estrutural	Acção permanente	(1)
2	Outras cargas gravíticas (recobrimentos ...)	Acção permanente	(2)
3	Sobrecargas	Acção variável	(3)
4	Estados limites últimos de resistência	ULS	$(1+2)*1.35+(3)*1.50$
5	Estados limites de serviço	SLS:QPR	$(1+2)*1.00+(3)*0.30$
7	Acção sísmica_tipo 1_xx	Acção accidental	(7)
8	Acção sísmica_tipo 1_yy	Acção accidental	(8)
9	Acção sísmica_tipo 1_zz	Acção accidental	(9)
10	Acção sísmica_tipo 2_xx	Acção accidental	(10)
11	Acção sísmica_tipo 2_yy	Acção accidental	(11)
12	Acção sísmica_tipo 2_zz	Acção accidental	(12)
13	Combinação sísmica_tipo1_(xx;0.3yy;0.3zz)	ULS	$(5+7)*1.00+(8+9)*0.30$
14	Combinação sísmica_tipo1_(xx;-0.3yy;0.3zz)	ULS	$(5+7)*1.00+(8)*-0.30+(9)*0.30$
15	Combinação sísmica_tipo1_(xx;0.3yy;-0.3zz)	ULS	$(5+7)*1.00+(8)*0.30+(9)*-0.30$
16	Combinação sísmica_tipo1_(xx;-0.3yy;-0.3zz)	ULS	$(5+7)*1.00+(8+9)*-0.30$
17	Combinação sísmica_tipo1_(0.3xx;yy;0.3zz)	ULS	$(5+8)*1.00+(7+9)*0.30$
18	Combinação sísmica_tipo1_(0.3xx;-yy;0.3zz)	ULS	$(5)*1.00+(8)*-1.00+(7+9)*0.30$
19	Combinação sísmica_tipo1_(0.3xx;yy;-0.3zz)	ULS	$(5+8)*1.00+(7)*0.30+(9)*-0.30$
20	Combinação sísmica_tipo1_(0.3xx;-yy;-0.3zz)	ULS	$(5)*1.00+(8)*-1.00+(7)*0.30+(9)*-0.30$
21	Combinação sísmica_tipo1_(0.3xx;0.3yy;zz)	ULS	$(5+9)*1.00+(7+8)*0.30$
22	Combinação sísmica_tipo1_(0.3xx;-0.3yy;zz)	ULS	$(5+9)*1.00+(7)*0.30+(8)*-0.30$
23	Combinação sísmica_tipo1_(0.3xx;0.3yy;-zz)	ULS	$(5)*1.00+(9)*-1.00+(7+8)*0.30$
24	Combinação sísmica_tipo1_(0.3xx;-0.3yy;-zz)	ULS	$(5)*1.00+(9)*-1.00+(7)*0.30+(8)*-0.30$
25	Combinação sísmica_tipo2_(xx;0.3yy;0.3zz)	ULS	$(5+10)*1.00+(11+12)*0.30$
26	Combinação sísmica_tipo2_(xx;-0.3yy;0.3zz)	ULS	$(5+10)*1.00+(11)*-0.30+(12)*0.30$
27	Combinação sísmica_tipo2_(xx;0.3yy;-0.3zz)	ULS	$(5+10)*1.00+(11)*0.30+(12)*-0.30$
28	Combinação sísmica_tipo2_(xx;-0.3yy;-0.3zz)	ULS	$(5+10)*1.00+(11+12)*-0.30$
29	Combinação sísmica_tipo2_(0.3xx;yy;0.3zz)	ULS	$(5+11)*1.00+(10+12)*0.30$
30	Combinação sísmica_tipo2_(0.3xx;-yy;0.3zz)	ULS	$(5)*1.00+(11)*-1.00+(10+12)*0.30$
31	Combinação sísmica_tipo2_(0.3xx;yy;-0.3zz)	ULS	$(5+11)*1.00+(10)*0.30+(12)*-0.30$
32	Combinação sísmica_tipo2_(0.3xx;-yy;-0.3zz)	ULS	$(5)*1.00+(11)*-1.00+(10)*0.30+(12)*-0.30$
33	Combinação sísmica_tipo2_(0.3xx;0.3yy;zz)	ULS	$(5+12)*1.00+(10+11)*0.30$
34	Combinação sísmica_tipo2_(0.3xx;-0.3yy;zz)	ULS	$(5+12)*1.00+(10)*0.30+(11)*-0.30$
35	Combinação sísmica_tipo2_(0.3xx;0.3yy;-zz)	ULS	$(5)*1.00+(12)*-1.00+(10+11)*0.30$
36	Combinação sísmica_tipo2_(0.3xx;-0.3yy;-zz)	ULS	$(5)*1.00+(10)*0.30+(11)*-0.30+(12)*-1.00$

#### 4.2.7. Valores dos carregamentos

Os valores estabelecidos neste capítulo foram combinados conforme a coluna “Definição das combinações” constante no Quadro 4.10. do presente documento, transformando-se, assim, em carregamentos de cálculo, que se encontram pormenorizadamente descritos no Anexo II.

#### 4.2.8. Pressupostos no dimensionamento das fundações superficiais

- Capacidade de suporte dos terrenos :
  - Para os terrenos do tipo A, foi considerado que os mesmos têm uma capacidade de suporte ( $q_u$ ) de 500 MPa.
  - Para os terrenos do tipo D, foi considerado que os mesmos têm uma capacidade de suporte ( $q_u$ ) de 350 MPa.

- O dimensionamento das sapatas foi efectuado por agrupamento de sapatas, num universo de 3 agrupamentos, tendo sido os esforços de cálculo de cada sapata, os esforços mais desfavoráveis no respectivo grupo.
- Coeficientes de carga:

Quadro 4.11. Coeficientes de carga para cada uma das resistências globais dos solos

Resistências globais	Coeficientes de carga
Tensões de cálculo(ULS )1	1.35 *( Peso da fundação + Peso do solo )
Resistência ao levantamento (ULS)2	1 *( Peso da fundação + Peso do solo )
Resistência ao deslizamento (ULS)3	
Resistência à rotação xx (ULS)4	
Resistência à rotação yy (ULS)5	
Assentamento médio (SLS)1	
Assentamento diferencial (SLS)2	

## 5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 5.1 Identificação dos elementos estruturais analisados

Neste capítulo serão analisados os esforços mais significativos nalguns elementos estruturais para todos os casos de estudo identificados no capítulo anterior, para assim de perceber a influência da acção sísmica. Para se realizar esta análise escolheram-se os seguintes elementos estruturais que se julga serem suficientemente representativos da variação de comportamento da estrutura:

- Uma laje do painel do 1º piso (elemento 182)
- Uma viga do 1º piso com extremos exteriores\* ( tramos elementares 36...40)
- Um pilar de canto classificado como “pilar 1” ( tramos elementares 6...765)
- Um pilar interior classificado como “pilar 2” ( tramos elementares 19...870)
- Duas fundações superficiais pertencentes ao mesmo agrupamento de dimensionamento (fundação do “pilar1” e fundação do “pilar2”)

Nota: \*A referência “extremos exteriores” refere-se ao apoio em consola, relativamente às varandas, dos extremos da viga.

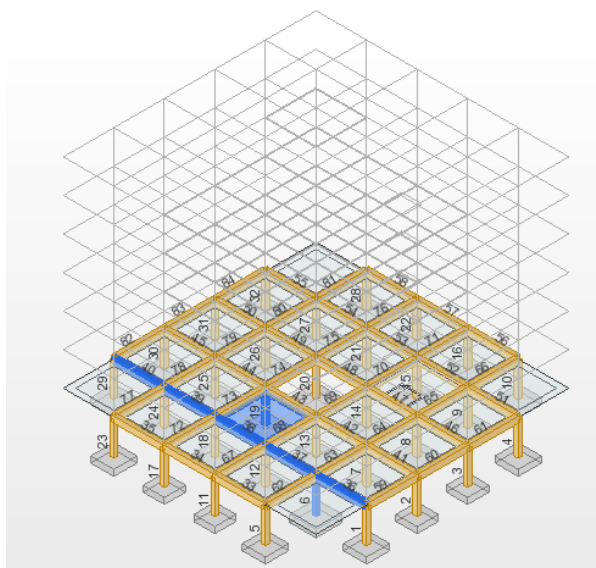


Fig. 5.1.a) Localização ( a azul ) dos elementos estruturais em análise de esforços.

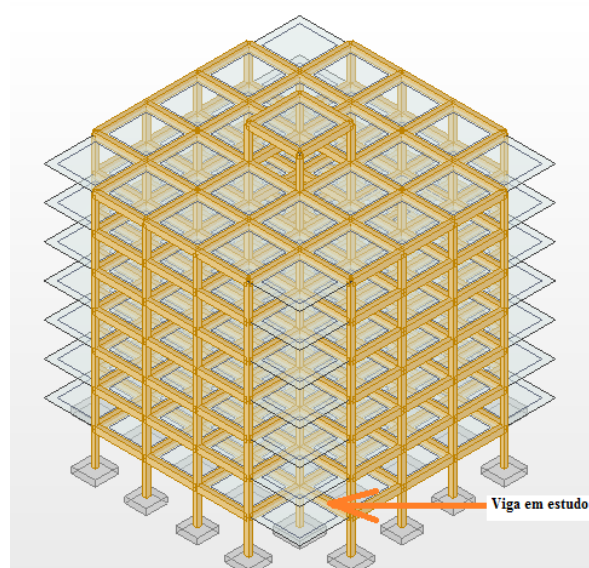


Fig. 5.1.b) Vista geral da estrutura em estudo e localização dos elementos estruturais em análise de esforços.

Neste capítulo também analisar-se-á as quantidades e os custos relativos aos materiais betão e aço por tipo de elemento (lajes; vigas; pilares; sapatas), em toda a estrutura e para todos os casos em estudo.

Notas: A partir deste momento, a estrutura “Terreno do tipo A”, significa estrutura dimensionada sem consideração da acção sísmica e erigida num tipo de terreno A.  
A partir deste momento, a estrutura “Terreno do tipo D”, significa estrutura dimensionada sem consideração da acção sísmica e erigida num tipo de terreno D.

## 5.2. Análise de esforços

### 5.2.1. Análise de esforços na laje

#### Descritização dos nós na laje

A análise de esforços na laje foi realizada em pontos notáveis da mesma, a saber : nos quatro cantos, nos quatro bordos, e, no centro da laje.

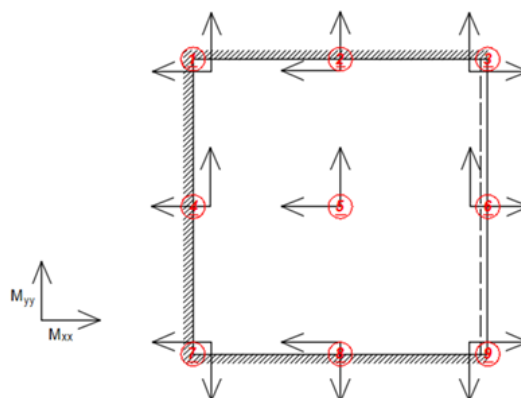


Fig.5.2. Esquema representativo da numeração dos nós em estudo na laje e direcção de esforços ( na figura, esforços de momentos)

#### Considerações acerca da espessura das lajes

A espessura das lajes de piso é constante em todos os casos em estudo, sendo o seu valor,  $e = 0,2$  m. Estas dimensões mantêm-se em toda a altura dos modelos de cálculo analisados.

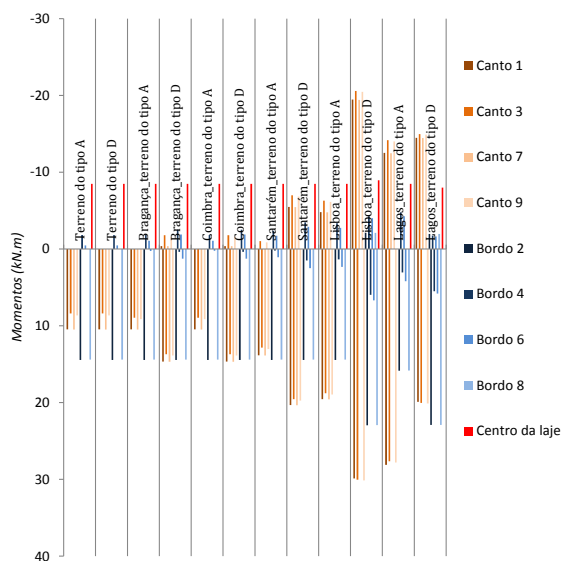
#### Análise dos momentos na laje.

Na análise dos momentos, quer na direcção  $xx$  quer na direcção  $yy$ , também se constata que os valores são relativamente baixos, na ordem dos  $-20$  kN.m a  $30$  kN.m na direcção  $xx$  e  $-10$  kN.m a  $30$  kN.m na direcção  $yy$ . O efeito da acção sísmica faz-se notar com maior relevância nos cantos e nos bordos da laje nos casos de Santarém terreno do tipo D, Lisboa terreno do tipo A e D e Lagos terreno do tipo A, para os momentos negativos em ambas direcções.

Os momentos positivos na laje na direcção  $xx$  são mais significativos no centro da laje nos casos mais a Norte, sendo que vão aumentando de intensidade a partir de Santarém terreno do tipo D. A partir desta localização e tipo de terreno, começam a surgir momentos positivos de valores mais elevados.

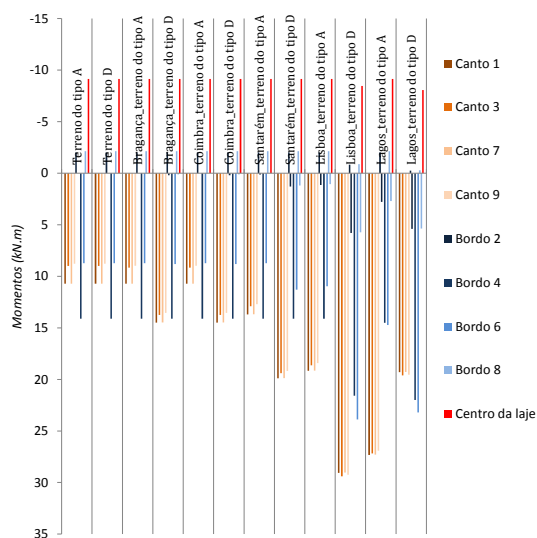
Nota: O “software” de cálculo estrutural “Robot” inverte a convenção dos sinais no que respeita aos esforços de momentos (visível nas Figuras 5.3.a) e 5.3.b)).

Envolvente de momentos (xx) na laje 182 (kN.m)



Estrutura\_localização e tipo de terreno

Envolvente de momentos (yy) na laje 182 (kN.m)



Estrutura\_localização e tipo de terreno

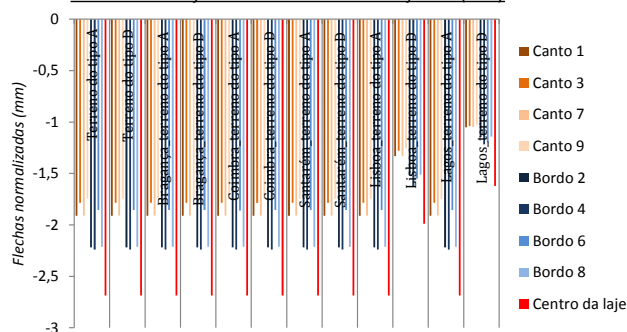
Fig. 5.3.a) Envolvente dos momentos (xx) na laje para os casos em estudo

Fig. 5.3.b) Envolvente dos momentos (yy) na laje para os casos em estudo

### Análise das flechas na laje

As flechas máximas são relativamente pequenas, na ordem dos 2,75mm para o centro da laje. Verifica-se que as flechas são muito semelhantes em todos os casos (as flechas ao nível das lajes dependem principalmente das cargas verticais), excepto os casos de Lisboa e Lagos terreno do tipo D, em que os valores são relativamente mais baixos. Uma explicação para que se verifique esta circunstância terá a ver com o aumento das secções das vigas e dos pilares, para verificação dos Estados Limites Últimos sob o efeito da acção sísmica.

Envolvente das flechas normalizadas na laje 182 (mm)



Estrutura\_localização e tipo de terreno

Fig. 5.4. Envolvente das flechas (zz) na laje para os casos em estudo

### 5.2.2. Análise de esforços na viga

#### Considerações acerca das secções das vigas

A secção das vigas é constante em todos os casos em estudo, sendo o seu valor,  $b=0,4$  m e  $h=0,6$  m, com excepção para os casos Lisboa\_terreno do tipo D, cujo valor é,  $b=0,5$  m e  $h=0,7$  m e Lagos\_terreno do tipo D, cujo valor é,  $b=0,6$  m e  $h=0,9$  m. Estas dimensões mantêm-se em toda a altura dos modelos de cálculo analisados.

#### Análise do esforço transverso na viga

Na direcção zz verifica-se uma certa constância dos valores do esforço transverso ao longo da viga, em todos os casos de estudo. Os valores variam entre os -100 kN e os 200 kN, exceptuando os casos de Lisboa e Lagos \_terreno do tipo D cujos valores variaram entre os -200 kN e os 400 kN e -400 kN e 600 kN, respectivamente. Na direcção zz os maiores valores de esforços encontram-se nos extremos da viga e junto aos apoios (nas ligações pilar-viga). A variação do esforço transverso na viga pode ser vista na Figura 5.5.

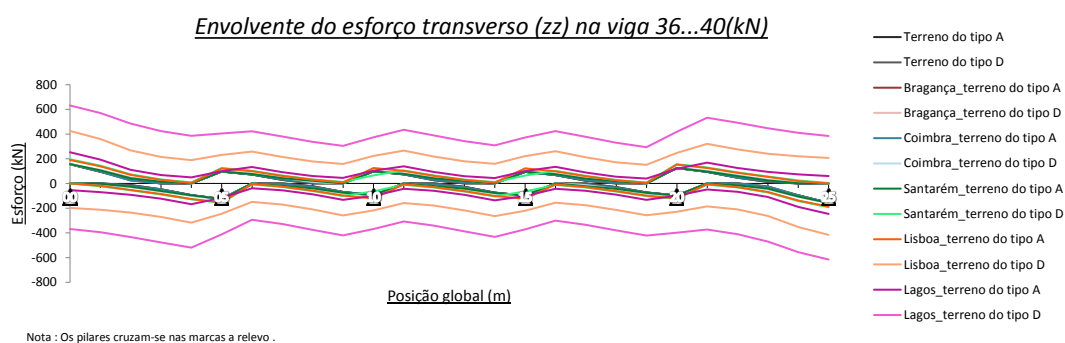


Fig. 5.5. Envolve do esforço transverso (zz) na viga para os casos em estudo

#### Análise dos momentos na viga

Na direcção yy há uma certa constância dos valores dos momentos, variando entre -250 kN.m e 250 kN.m, nos extremos e ligações pilar/viga, em quase todos os casos de estudo. Exceptuam-se os casos de Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D cujos valores situam-se na ordem dos -750 kN.m e 750 kN.m e -1250 kN.m e 1250 kN.m, respectivamente. Ainda nesta direcção, é de salientar os valores relativamente baixos nos centros dos tramos da viga. A variação do momento flector na viga pode ser vista na Figura 5.6..

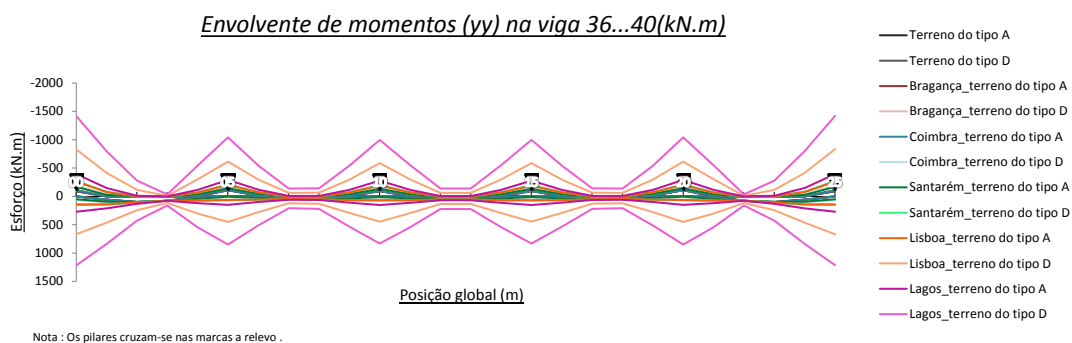


Fig. 5.6. Envolve dos momentos (yy) na viga para os casos em estudo



### Análise das flechas na viga

Na direcção zz, os valores das flechas são cerca de 1 mm. Nesta direcção, os valores das flechas aumentam gradualmente de Norte para Sul e do tipo de terreno\_A para o tipo de terreno \_D, para as mesmas localidades. A flecha mais elevada verifica-se em Lisboa\_terreno tipo D.

A variação das flechas na viga pode ser vista na Figuras 5.7..

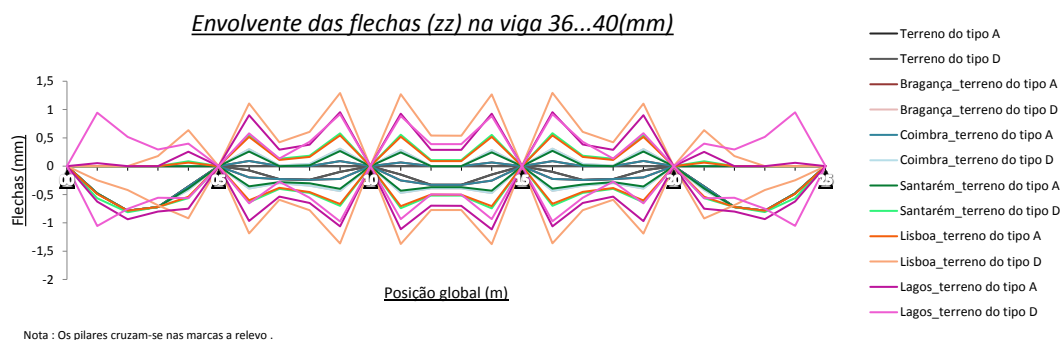


Fig. 5.7. Envolvente das flechas (zz) na viga para os casos em estudo

### 5.2.3. Análise de esforços nos pilares “1” e “2”

#### Considerações acerca das secções dos pilares

A secção dos pilares é constante em todos os casos em estudo, sendo o seu valor,  $a=0,4$  m e  $b=0,4$  m, com excepção para os casos Lisboa\_terreno do tipo D, cujo valor é,  $a=0,5$  m e  $b=0,5$  m e Lagos\_terreno do tipo D, cujo valor é,  $a=0,6$  m e  $b=0,6$  m.

#### Considerações acerca dos valores de esforços nos pilares

Os valores de esforços nos pilares “1” e “2” apresentados nesta secção, são os valores máximos absolutos (positivos e negativos) das envolventes de esforços nesses pilares.

#### Análise do esforço axial nos pilares “1” e “2”

Os esforços axiais elevados na base dos pilares “1” e “2” são na ordem dos 3000 kN para quase todos os casos estudados. Em Lisboa e Lagos\_terrenos do tipo D os valores são ainda um pouco maiores, na ordem dos 3250 kN e 4000 kN, respectivamente. Como seria de esperar os valores do esforço axial decrescem com a altura do pilar, verificando-se nos topos valores na ordem dos 200 kN, tanto no pilar “1”, como no pilar “2”. É de realçar os factos de que, entre casos, os valores mais elevados, em todos os pontos, verificam-se em Lisboa e Lagos\_terrenos do tipo D.

A variação do esforço axial nos pilares “1” e “2” pode ser vista nas Figuras 5.8.a) e b).

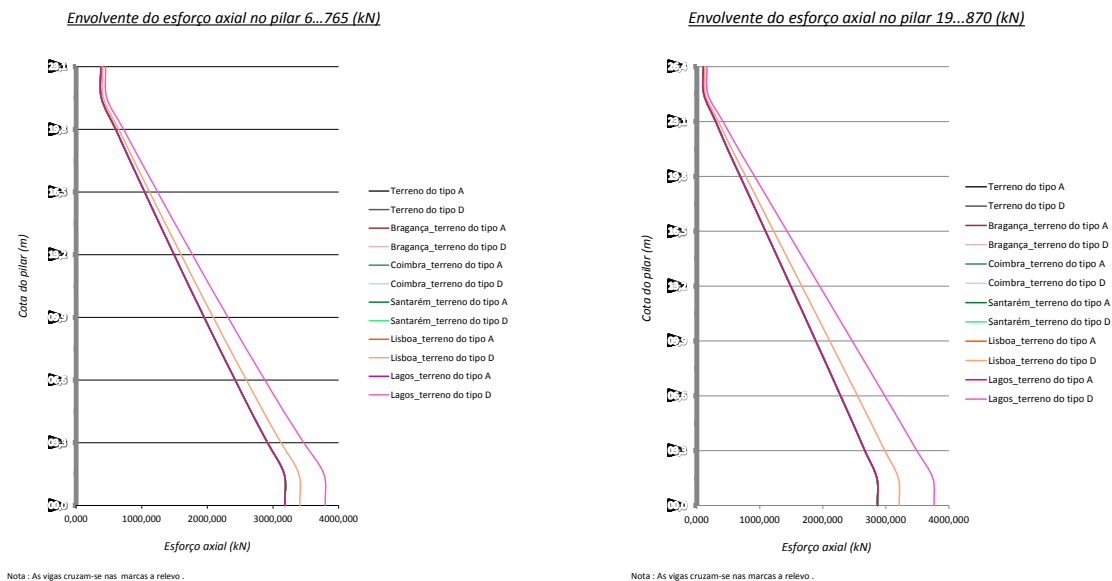


Fig. 5.8.a) Máx. dos valores abs. da envolvente do esforço axial no pilar 1 para os casos em estudo

Fig. 5.8.b) Máx. dos valores abs. da envolvente do esforço axial no pilar 2 para os casos em estudo

### Análise do esforço transverso nos pilares “1” e “2”

Os valores dos esforços transversos máximos na base dos pilares “1” e “2” são da ordem dos 500 kN e 600 kN nas direcções yy e zz, e, verificam-se em Lisboa e Lagos\_terrenos do tipo D, respectivamente. Mais uma vez verifica-se um aumento gradual dos esforços de Norte para Sul e do tipo de terreno\_A para o tipo de terreno\_D. Também, como esperado, em ambas as direcções, yy e zz e em ambos os pilares, os valores do esforço transversal decrescem com a altura, sendo que no topo o valor é apenas na ordem dos 50 kN.

A variação do esforço transversal nos pilares “1” e “2” pode ser vista nas Figuras 5.9.a), b), c) e d).

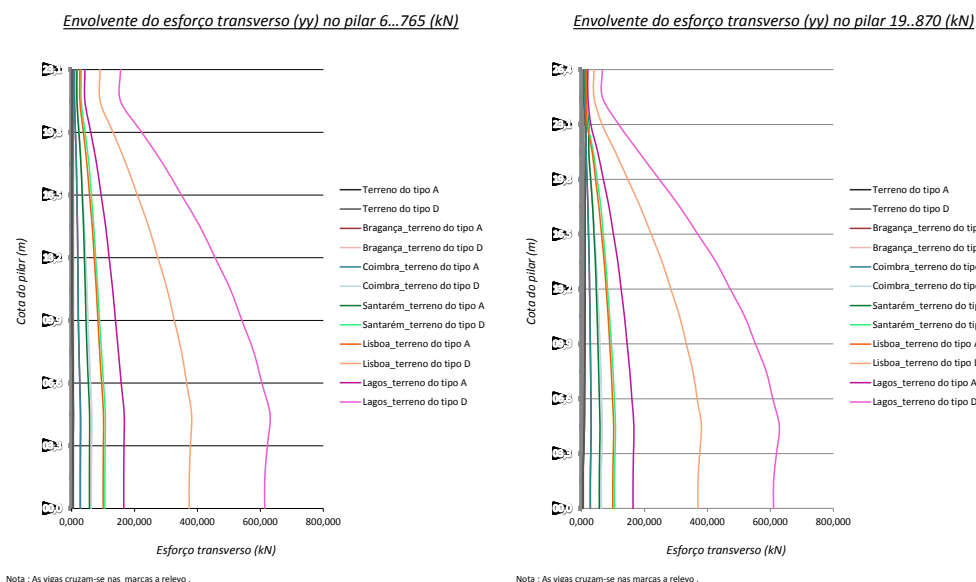


Fig. 5.9.a) Máx. dos valores abs. da envolvente do esforço transversal (yy) no pilar 1 para os casos em estudo

Fig. 5.9.b) Máx. dos valores abs. da envolvente do esforço transversal (yy) no pilar 2 para os casos em estudo

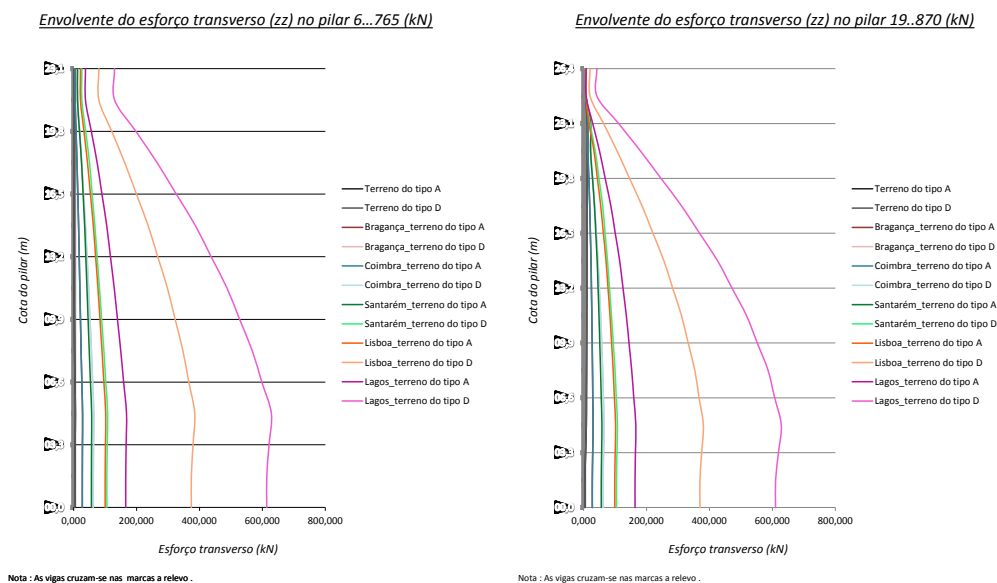


Fig. 5.9.c) Máx. dos valores abs. da envoltura do esforço transverso (zz) no pilar 1 para os casos em estudo

Fig. 5.9.d) Máx. dos valores abs. da envoltura do esforço transverso (zz) no pilar 2 para os casos em estudo

### Análise dos momentos nos pilares “1” e “2”

Nas direcções yy e zz, os valores dos momentos decrescem com a altura do pilar, verificando-se nas bases momentos máximos muito elevados, 1000 kN.m, tanto na direcção yy como direcção zz, no caso de Lagos\_terreno do tipo D. Na mesma localização, verifica-se no topo do pilar que o momento é cerca de 250 kN.m, tanto na direcção yy como zz e para ambos os pilares. Os momentos mais elevados encontram-se nos nós de ligação pilar/viga, sendo 0 mais ou menos a meio de cada tramo do pilar.

A variação dos momentos, em qualquer das direcções e para todos os casos, é gradativa de Norte para Sul e do tipo de terreno A para o tipo de terreno D, para a mesma localidade.

A variação do momentos nos pilares 1 e 2 pode ser vista nas Figuras 5.10.a), b), c) e d)

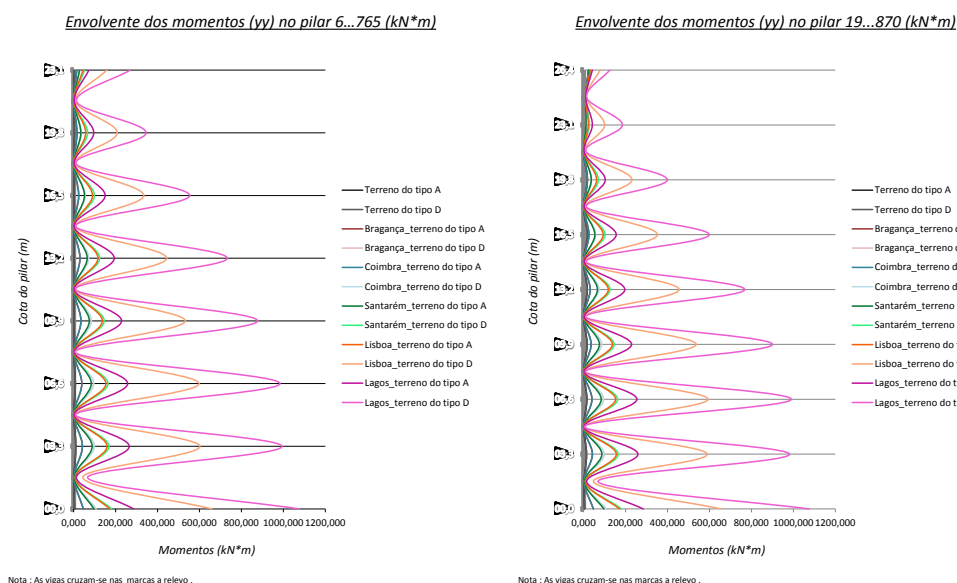


Fig. 5.10.a) Máx. dos valores abs. da envoltura dos momentos (yy) no pilar 1 para os casos em estudo

Fig. 5.10.b) Máx. dos valores abs. da envoltura dos momentos (yy) no pilar 2 para os casos em estudo

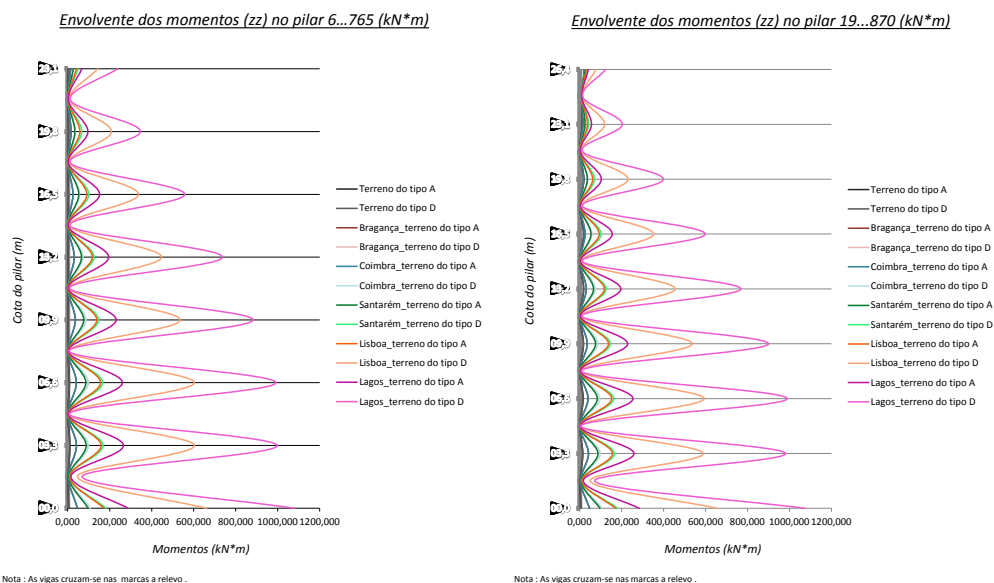


Fig. 5.10.c) Máx. dos valores abs. da envolvente dos momentos (zz) no pilar 1 para os casos em estudo

Fig. 5.10.d) Máx. dos valores abs. da envolvente dos momentos (zz) no pilar2 para os casos em estudo

### Análise dos deslocamentos nos pilares “1” e “2”

Os deslocamentos máximos são relativamente elevados nos dois pilares, pois o edifício é também relativamente alto. Estes valores máximos registam-se ao nível da cobertura e são da ordem dos 150 mm tanto na direcção xx como yy. Estes valores são para o caso de Lagos\_terreno do tipo D. À semelhança dos outros parâmetros de análise os deslocamentos aumentam gradualmente de Norte para Sul e do tipo de terreno A para o tipo de terreno D, para as mesmas localidades, e para todas as direcções, xx, yy. Considerando a deformação da estrutura em altura, há um aumento dos deslocamentos ao longo do pilar, desde a base até ao topo.

A variação dos deslocamentos nos pilares 1 e 2 pode ser vista nas Figuras 5.11.a), b), c) e d).

Nota: Estes deslocamentos podem considerar-se os deslocamentos dos pisos nas localizações dos pilares “1” e “2”.

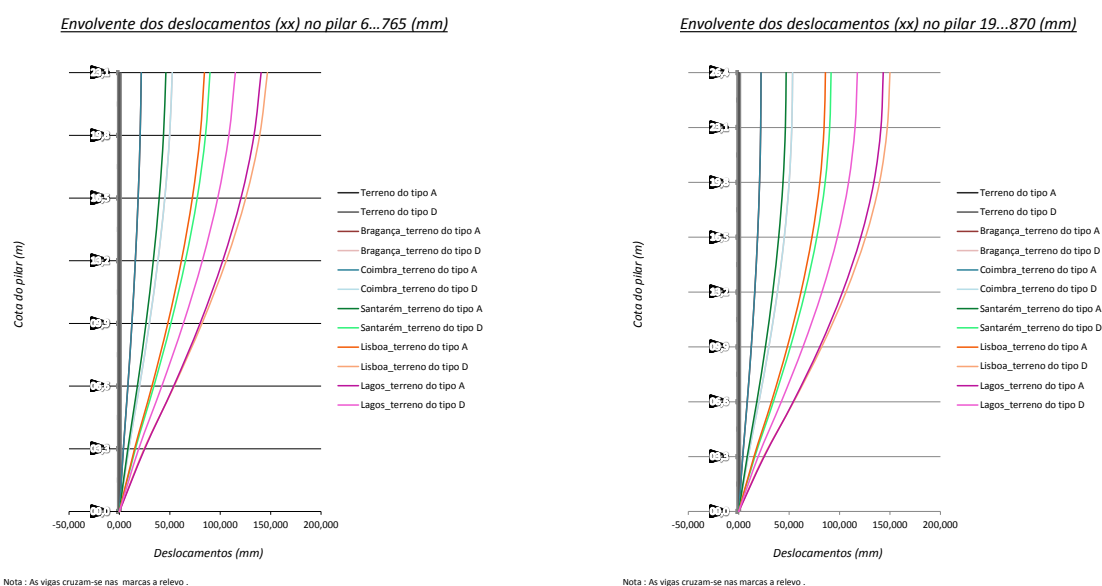


Fig. 5.11.a) Máx. dos valores abs. da envolvente dos deslocamentos (xx) no pilar 1 para os casos em estudo

Fig. 5.11.b) Máx. dos valores abs. da envolvente dos deslocamentos (xx) no pilar 2 para os casos em estudo

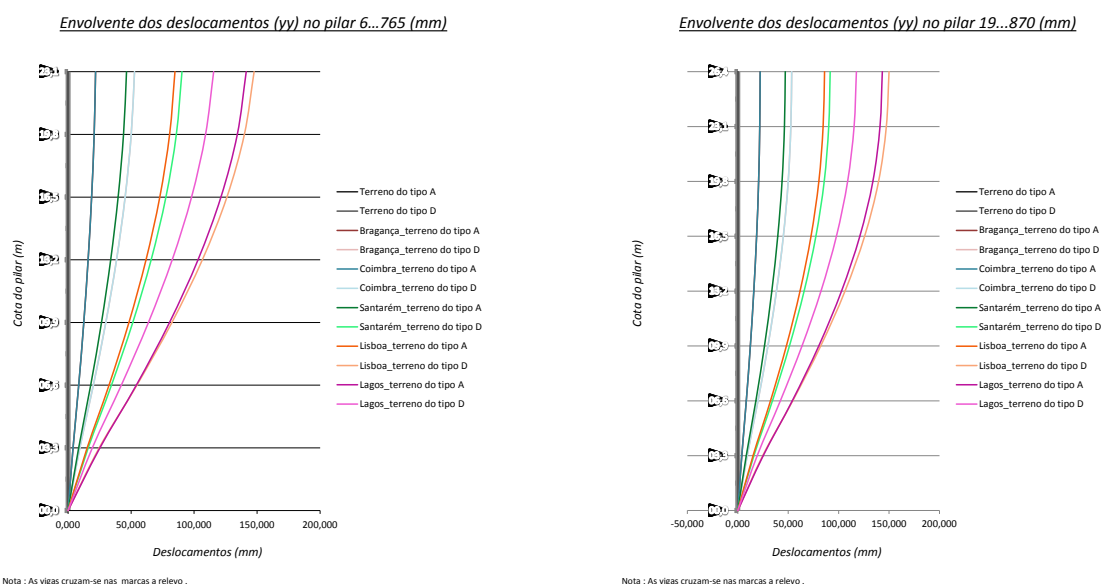


Fig.5.11.c) Máx. dos valores abs. da envolvente dos deslocamentos (yy) no pilar 1 para os casos em estudo

Fig. 5.11.d) Máx. dos valores abs. da envolvente dos deslocamentos (yy) no pilar 2 para os casos em estudo

## 5.2.4. Análise de esforços de duas fundações superficiais

### Considerações acerca das secções das sapatas

Quadro 5.1. Dimensões das sapatas

Estrutura	Dimensões das sapatas (m)		
	Comprimento	Largura	Altura
Terreno do tipo A	2,6	2,6	0,7
Terreno do tipo D	3,2	3,2	0,7
Bragança_terreno do tipo A	2,6	2,6	0,7
Bragança_terreno do tipo D	3,2	3,2	0,7
Coimbra_terreno do tipo A	2,6	2,6	0,7
Coimbra_terreno do tipo D	3,2	3,2	0,7
Santarém_terreno do tipo A	2,6	2,6	0,7
Santarém_terreno do tipo D	3,2	3,1	0,7
Lisboa_terreno do tipo A	2,7	2,5	0,7
Lisboa_terreno do tipo D	3,7	3,7	1,2
Lagos_terreno do tipo A	2,6	2,6	0,9
Lagos_terreno do tipo D	4,5	3,6	0,8

### Análise do esforço axial nas duas sapatas analisadas

O esforço axial máximo nas sapatas seleccionadas variou pouco nos vários casos estudados, rondando os 3500 kN na maioria dos casos e cerca de 2500 kN no caso de Lagos\_terreno do tipo A. É de notar que o critério de dimensionamento que contribuiu para estes valores foi a verificação das tensões no solo. Para os outros critérios na verificação aos Estados Últimos de Resistência verificam-se três patamares de valores:

- O patamar mais elevado e constante (2750 kN) para as estruturas com dimensionamento sem consideração da acção sísmica, quer no terreno do tipo A, quer no terreno do tipo D.

- No patamar seguinte o valor é cerca de 2500 kN para o caso de Lagos\_terreno do tipo D.
- Depois o patamar seguinte de 2000 kN para a todas os outros casos em estudo, com excepção de Lisboa\_terreno do tipo D e Lagos\_terreno do tipo A (1000 kN), cujos valores são mais baixos.

Para a verificação aos Estados Limites de Serviço, pode-se considerar que o esforço axial é constante para todos os casos em estudo (cerca de 2000 kN).

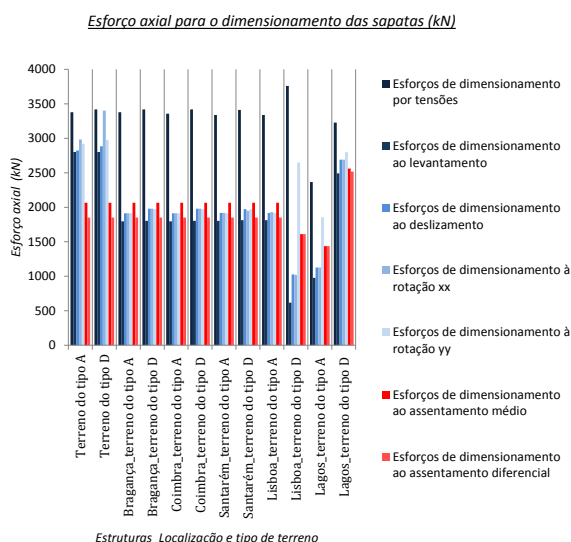


Fig. 5.12. Envolvente do esforço axial nas duas fundações superficiais

### Análise do esforço transverso nas duas sapatas analisadas

Os valores do esforço transverso para o dimensionamento destas sapatas aos Estados Últimos de Resistência, na direcção xx, são praticamente inexistentes em vários casos. Todavia, em Lisboa\_terreno do tipo D o valor é 300 kN, em Lagos\_terreno do tipo A o valor é 150 kN e em Lagos\_terreno do tipo D o valor é 600 kN. Na direcção yy, verifica-se que, em valor absoluto, os valores do esforço transverso são crescentes de Norte para Sul e do tipo de terreno A para o tipo de terreno D, para todas as estruturas em estudo. Os valores mínimos se verificaram-se para as estruturas em que não foi considerada a acção sísmica no dimensionamento estrutural (~0 kN) e os valores máximos verificaram-se em Lagos\_terreno do tipo D, cujo valor ronda os 600 kN. Para a verificação aos Estados Limites de Serviço pode-se considerar que esforço transverso é praticamente inexistente para todos os casos em estudo, quer na direcção xx, quer na direcção yy.

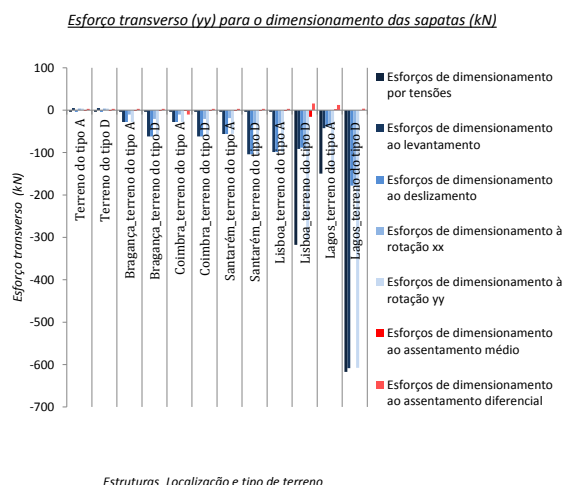


Fig. 5.13.a) Envelope do esforço transversal (xx) nas duas fundações superficiais

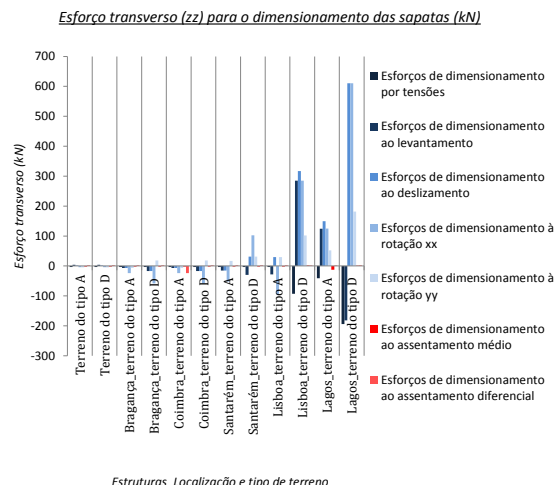


Fig. 5.13.b) Envelope do esforço transversal (yy) nas duas fundações superficiais

### Análise dos momentos flectores nas duas sapatas analisadas

Os valores dos momentos para o dimensionamento das sapatas aos Estados Últimos de Resistência, na direcção xx, são, entre estruturas, praticamente inexistentes. Verifica-se que no caso de Lisboa\_ terreno do tipo D, o momento máximo é de 600 kN.m, no caso de Lagos\_ terreno do tipo A, o momento máximo é de 250 kN.m e no caso de Lagos\_ terreno do tipo D o momento máximo é de 600 kN.m. Na direcção yy, verifica-se que, em valor absoluto, os valores são crescentes de Norte para Sul e do tipo de terreno A para o tipo de terreno D. Os valores mínimos verificaram-se para as estruturas em que não foi considerada a acção sísmica no dimensionamento estrutural (~0 kN.m) e os valores máximos verificaram-se em Lagos\_ terreno do tipo D, cujo valor ronda os -1600 kN.m. Para a verificação aos Estados Limites de Serviço, constata-se que os momentos flectores são praticamente nulos em todos os casos em estudo, quer na direcção xx, quer na direcção yy.

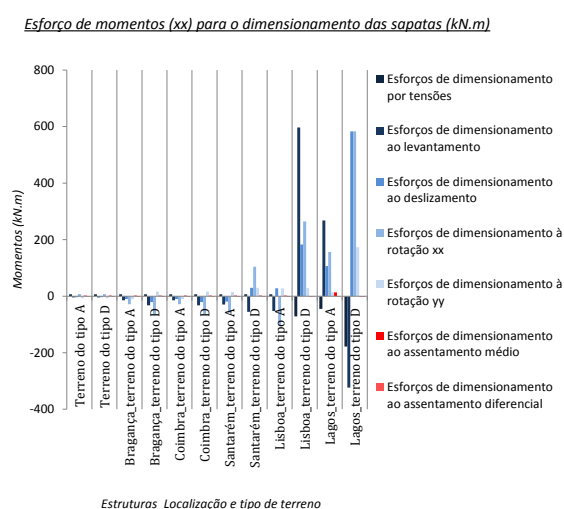


Fig. 5.14.a) Envelope dos momentos (xx) nas duas fundações superficiais

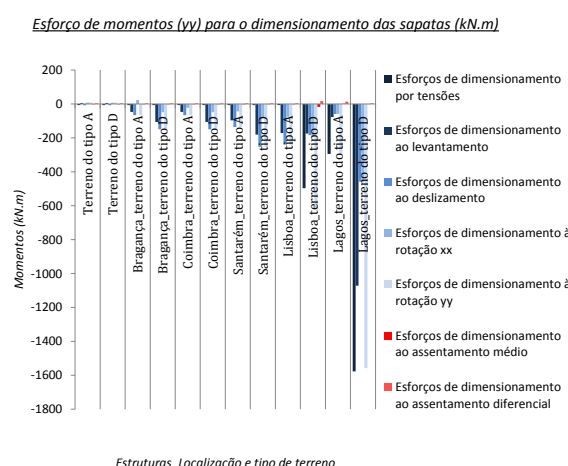


Fig. 5.14.b) Envelope dos momentos (yy) nas duas fundações superficiais

### 5.3. Análise das quantidades de materiais e de custo da estrutura

#### 5.3.1. Preços do betão pronto (m<sup>3</sup>) e do aço (kg)

Na análise de custos que se apresenta de seguida, usou-se um preço estimado para o betão, pois além dos orçamentos fornecidos na recolha de dados não incluírem as classes destacadas a azul e necessárias em alguns dos casos em estudo, também não inclui o deslocamento da bomba para o local da obra, assim como o custo associado à própria bombagem do betão.

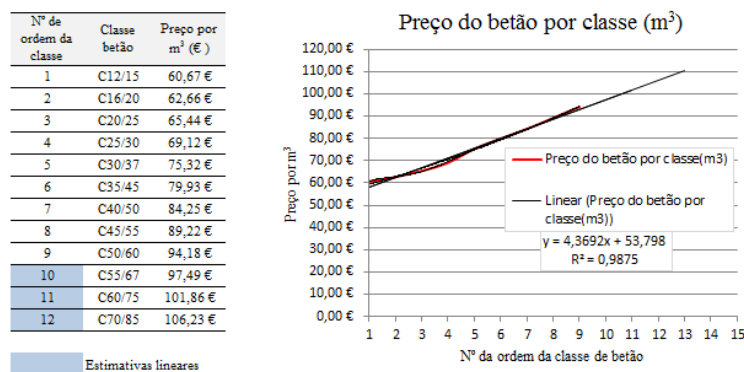


Fig. 5.15.a) Preço do betão por classe (m<sup>3</sup>) [42].

No que se refere ao preço do varão por diâmetro (kg), usou-se um preço estimado para alguns dos diâmetros, a partir dos orçamentos obtidos para outros valores de diâmetro dos varões de aço.

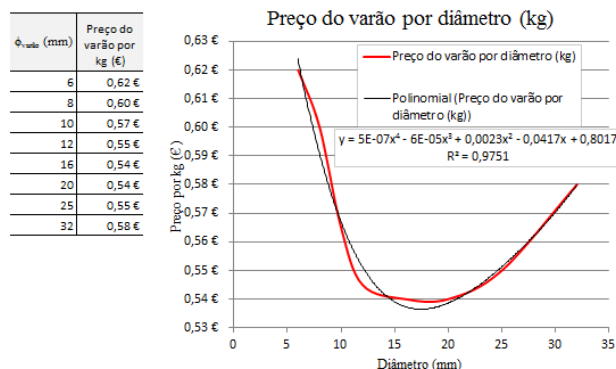


Fig. 5.15.b) Preço do aço por diâmetro (kg) [43].

Os diâmetros determinados pelo “software” de cálculo estrutural “Robot” foram usados para o cálculo dos custos, de acordo com os preços atrás apresentados.

#### 5.3.2 Análise das quantidades dos materiais e dos custos das lajes, por piso

Quanto às quantidades de betão utilizadas nas lajes, verifica-se que para todos os pisos, ronda os 120 m<sup>3</sup> por piso.

A nível das quantidades de aço utilizadas nas lajes, verifica-se, regra geral, uma diminuição das quantidades dos pisos inferiores para os pisos superiores, e um aumento nos casos das estruturas localizadas mais a Norte para as estruturas localizadas mais a Sul, e do tipo de terreno A para o terreno do tipo D, para as mesmas localidades. Verifica-se ainda que a estrutura com mais aço gasto nas lajes, foi Lisboa\_terreno do tipo D, com um total de ~85000 kg de aço.



Os custos reflectem obviamente as quantidades de aço e betão necessárias para a construção das lajes. A variação de custos deve-se apenas à variação da quantidade de aço consumida nas lajes, na medida em que não houve variação das quantidades de betão nas lajes. Assim verifica-se que Lisboa\_terreno do tipo D, em termos de lajes, é a estrutura mais dispendiosa de todos os casos em estudo, com um custo de ~110000 € para as lajes.

No Quadro 5.2, apresenta-se, em síntese, a análise das quantidades dos materiais e dos custos das lajes, por piso.

No Quadro 5.3. estão representadas as variações entre a estrutura de referência, onde não é considerada a acção sísmica, e a estrutura onde a acção tem um efeito mais gravoso no dimensionamento das lajes (para o mesmo tipo de terreno), quer ao nível das quantidades dos materiais, quer ao nível dos custos das lajes, por piso.

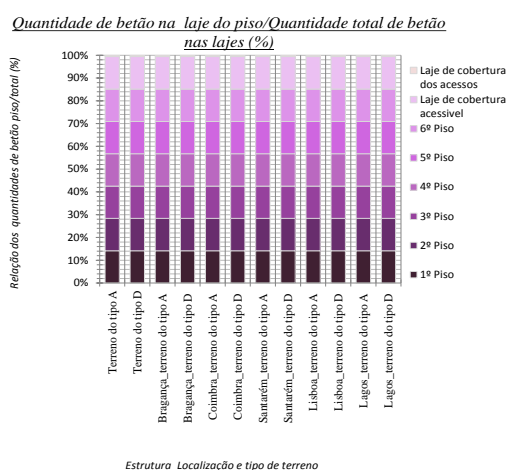


Fig. 5.16.a) Quantidade de betão na laje do piso/Quantidade total de betão nas lajes (%)

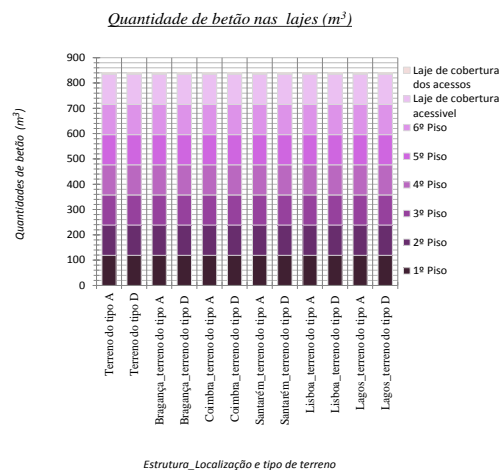


Fig. 5.16.b) Quantidade de betão nas lajes (m3).

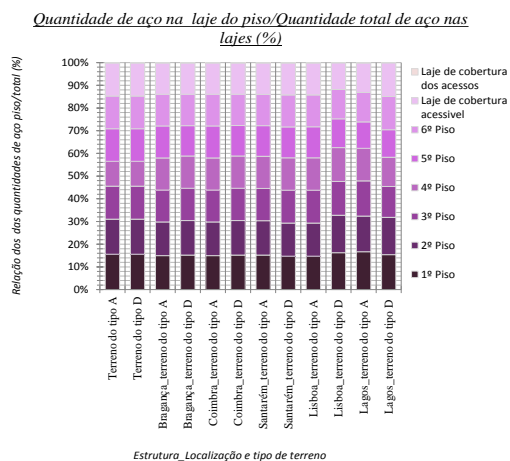


Fig. 5.16.c) Quantidade de aço na laje do piso/Quantidade total de aço nas lajes (%)

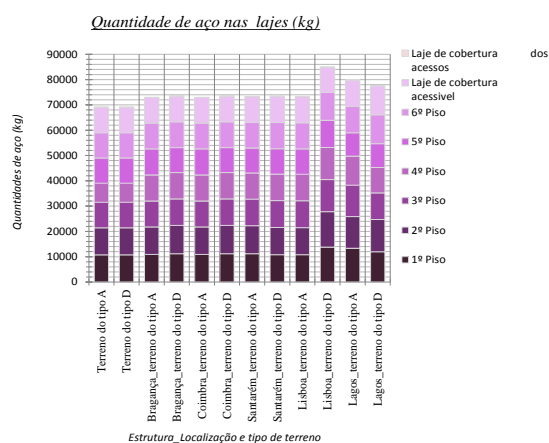
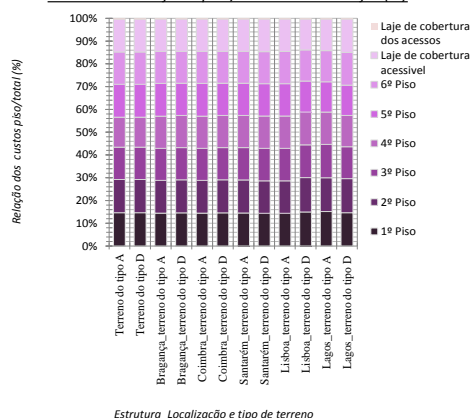


Fig. 5.16.d) Quantidade de aço nas lajes (kg).

Custo total da laje do piso/Custo total das lajes (%)



Custo total da laje do piso/Custo total das lajes (€)

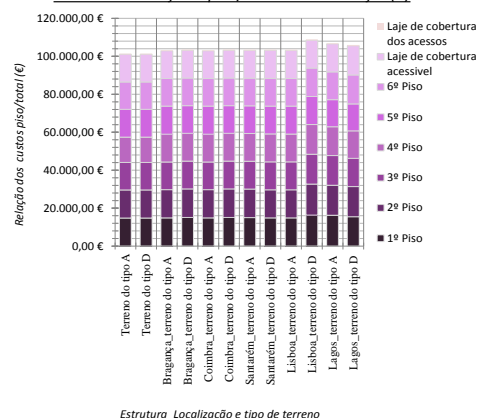


Fig. 5.16.e) Custo da laje do piso/Custo total das lajes (%).

Fig. 5.16.f) Custo da laje do piso/Custo total das lajes (€).

Quadro 5.2. Quadro síntese da análise das quantidades dos materiais e dos custos das lajes, por piso.

Análise	$\Delta\%$ (entre pisos)	$\Delta$ (entre casos)	Quantidades por piso	Estrutura menos económica
Betão	Constante para todos os casos em estudo	Constante para todos os casos em estudo	120 m <sup>3</sup>	-
Aço	Diminuição das quantidades dos pisos inferiores para os pisos superiores, para todos os casos em estudo.	Aumento nos casos das estruturas localizadas mais a Norte para as estruturas localizadas mais a Sul, e do tipo de terreno A para o terreno do tipo D, para as mesmas localidades.	-	Lisboa_terreno do tipo D, com um total de ~85000 kg de aço.
Custos com os materiais	Diminuição dos custos dos pisos inferiores para os pisos superiores, para todos os casos em estudo.	Aumento nos casos das estruturas localizadas mais a Norte para as estruturas localizadas mais a Sul, e do tipo de terreno A para o terreno do tipo D, para as mesmas localidades.	-	Lisboa_terreno do tipo D com um custo de ~110000 € para as lajes

Quadro 5.3. Variação entre a estrutura de referência e o caso de estudo mais gravoso, nas quantidades dos materiais e nos custos das lajes, por piso.

Piso	Betão (m <sup>3</sup> )		Variação das quantidades (%)
	Quantidades Estrutura_terreno do tipo D	Quantidades Lisboa_terreno do tipo D	
Piso 1	119,2	119,2	0
Piso 2	119,2	119,2	0
Piso 3	119,2	119,2	0
Piso 4	119,2	119,2	0
Piso 5	119,2	119,2	0
Piso 6	119,2	119,2	0
Cobertura da laje acessível	120	120	0
Cobertura da laje dos acessos	5	5	0

Piso	Aço (kg)		Variação das quantidades (%)
	Quantidades Estrutura_terreno do tipo D	Quantidades Lisboa_terreno do tipo D	
Piso 1	10764,08	13806,46	28,3
Piso 2	10698,07	14027,93	31,1
Piso 3	10031,79	12652,77	26,1
Piso 4	7578,97	12681,96	67,3
Piso 5	9932,54	10760,65	8,3
Piso 6	9962,67	11009,07	10,5
Cobertura da laje acessível	10083,09	9952,34	-1,3
Cobertura da laje dos acessos	88,74	93,96	5,9

Piso	Custos (€)		Variação dos custos (%)
	Custos Estrutura_ terreno do tipo D	Custos Lisboa_ terreno do tipo D	
Piso 1	14823,04	16309,37	10,0
Piso 2	14797,89	16384,89	10,7
Piso 3	14435,43	15722,07	8,9
Piso 4	13336,05	15636,17	17,2
Piso 5	14639,69	14799,65	1,1
Piso 6	14427,72	14934,05	3,5
Cobertura da laje acessível	14543,77	14661,47	0,8
Cobertura da laje dos acessos	430,91	434,67	0,9

### 5.3.3. Análise das quantidades dos materiais e dos custos das vigas, por piso

A quantidade de betão utilizada na construção das vigas ronda os 65 m<sup>3</sup> por piso, igual para todos os pisos e para quase todos os casos estudados. Nos casos de Lisboa e Lagos\_ terreno do tipo D as quantidades de betão utilizadas na construção das vigas ronda os 95 m<sup>3</sup> e 145 m<sup>3</sup>, respectivamente. Tal facto deve-se à necessidade de aumentar as secções das vigas nestes dois casos, para a verificação dos Estados Limites Últimos de Resistência.

A nível das quantidades de aço utilizadas nas vigas, verifica-se, regra geral, uma diminuição das quantidades dos pisos inferiores para os pisos superiores, e um aumento das estruturas localizadas mais a Norte para as estruturas localizadas mais a Sul, e do tipo de terreno A para o terreno do tipo D, para as mesmas localidades. As estruturas com mais aço gasto nas vigas foram Lisboa e Lagos\_ terreno do tipo D, com um total de ~70000 kg e 100000 kg de aço, respectivamente.

No que respeita à variação dos custos, verifica-se, regra geral, uma diminuição dos custos dos pisos inferiores para os pisos superiores, e um aumento de custo das estruturas localizadas mais a Norte para as estruturas localizadas mais a Sul, e do tipo de terreno A para o terreno do tipo D, para as mesmas localidades. Nas vigas, a variação de custo está muito associada à quantidade de aço necessária. Verifica-se que as estruturas menos económicas foram Lisboa e Lagos\_ terreno do tipo D, com um total de ~90000€ e 135000 € gastos nas vigas, respectivamente. No Quadro 5.4, apresenta-se, em síntese, a análise das quantidades dos materiais e dos custos das vigas, por piso. No Quadro 5.5. estão representadas as variações entre a estrutura de referência, onde não é considerada a acção sísmica, e o caso de estudo mais gravoso (para o mesmo tipo de terreno), quer ao nível das quantidades dos materiais, quer ao nível dos custos das vigas, por piso.

Quantidade de betão nas vigas do piso / Quantidade total de betão nas vigas (%)

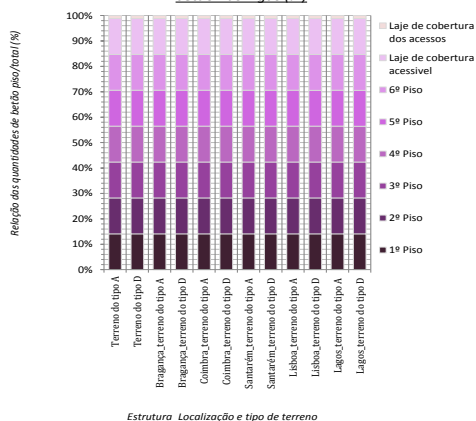


Fig. 5.17.a) Quantidade de betão nas vigas do piso/Quantidade total de betão nas vigas (%)

Quantidade de betão nas vigas (m<sup>3</sup>)

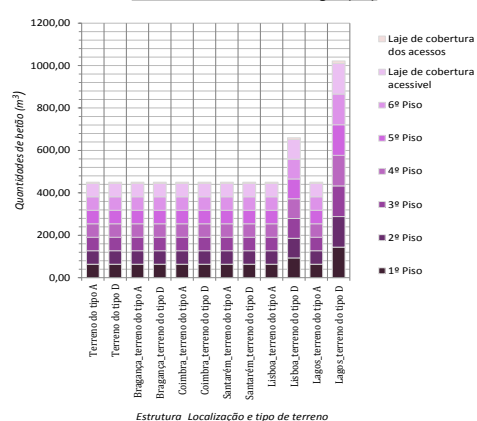
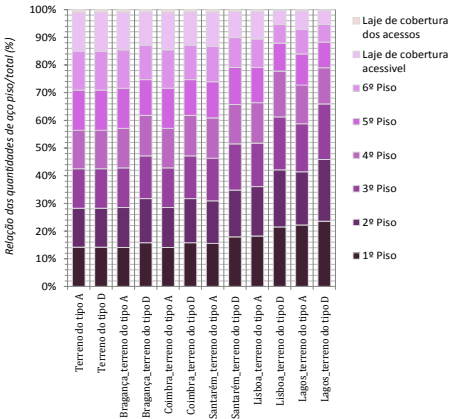


Fig. 5.17.b) Quantidade de betão nas vigas (m3).

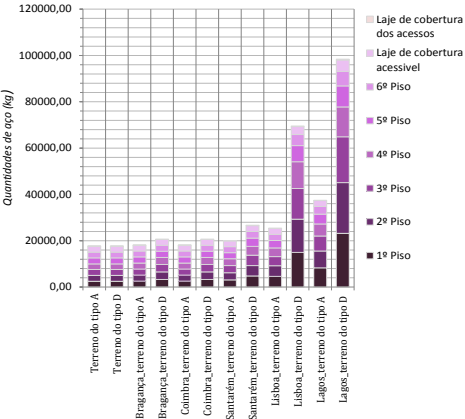
Quantidade de aço nas vigas do piso/Quantidade total de aço nas vigas (%)



Estrutura\_Localização e tipo de terreno

Fig 5.17.c) Quantidade de aço nas vigas do piso/Quantidade total de betão nas vigas (%)

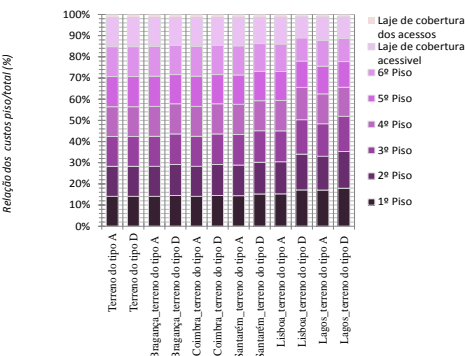
Quantidade de aço nas vigas (kg)



Estrutura\_Localização e tipo de terreno

Fig. 5.17.d) Quantidade de aço nas vigas (kg).

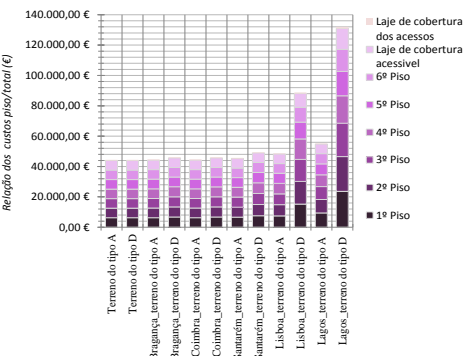
Custo das vigas do piso/Custo total das vigas(%)



Estrutura\_Localização e tipo de terreno

Fig. 5.17.e) Custo das vigas do piso/Custo total das vigas (%).

Custo das vigas do piso/Custo total das vigas(€)



Estrutura\_Localização e tipo de terreno

Fig. 5.17.f) Custo das vigas do piso/Custo total das vigas (€).

Quadro 5.4. Quadro síntese da análise das quantidades dos materiais e dos custos das vigas, por piso.

Análise	Δ% (entre pisos)	Δ (entre casos)	Quantidades por piso	Estruturas menos económicas
Betão	Constante para todos os casos em estudo	Constante para todos os casos em estudo, excepto para Lisboa e Lagos_terreno do tipo D, onde as quantidades de betão foram maiores	95 m <sup>3</sup> para Lisboa_terreno do tipo D, 145 m <sup>3</sup> para Lagos_terreno do tipo D e 65 m <sup>3</sup> para os restantes casos	-
Aço	Diminuição das quantidades dos pisos inferiores para os pisos superiores, para todos os casos em estudo.	Aumento nos casos das estruturas localizadas mais a Norte para as estruturas localizadas mais a Sul, e do tipo de terreno A para o terreno do tipo D, para as mesmas localidades.	-	Lisboa e Lagos_terreno do tipo D, com um total de ~70000 kg e 100000 kg de aço, respectivamente
Custos com os materiais	Diminuição dos custos dos pisos inferiores para os pisos superiores, para todos os casos em estudo.	Aumento nos casos das estruturas localizadas mais a Norte para as estruturas localizadas mais a Sul, e do tipo de terreno A para o terreno do tipo D, para as mesmas localidades.	-	Lisboa e Lagos_terreno do tipo D, com um total de ~90000€ e 135000 €, respectivamente

Quadro 5.5. Variação entre a estrutura de referência e o caso de estudo mais gravoso, nas quantidades dos materiais e nos custos das vigas, por piso

Piso	Betão (m <sup>3</sup> )		Variação das quantidades (%)
	Quantidades Estrutura_terreno do tipo D	Quantidades Lagos_terreno do tipo D	
Piso 1	63,6	144,24	126,8
Piso 2	63,6	144,24	126,8
Piso 3	63,6	144,24	126,8
Piso 4	63,6	144,24	126,8
Piso 5	63,6	144,24	126,8
Piso 6	63,6	144,24	126,8
Cobertura da laje acessível	63,6	144,24	126,8
Cobertura da laje dos acessos	5,2	12,08	132,3

Piso	Aço (kg)		Variação das quantidades (%)
	Quantidades Estrutura_terreno do tipo D	Quantidades Lagos_terreno do tipo D	
Piso 1	2522,50	23215,75	820,3
Piso 2	2500,67	21907,24	776,1
Piso 3	2534,55	19747,13	679,1
Piso 4	2460,02	12899,21	424,4
Piso 5	2583,89	9087,61	251,7
Piso 6	2500,11	6305,02	152,2
Cobertura da laje acessível	2502,46	4893,96	95,6
Cobertura da laje dos acessos	158,28	359,60	127,2

Piso	Custos (€)		Variação dos custos (%)
	Custos Estrutura_terreno do tipo D	Custos Lagos_terreno do tipo D	
Piso 1	6283,61	23684,82	276,9
Piso 2	6271,16	22893,76	265,1
Piso 3	6292,64	21930,13	248,5
Piso 4	6237,24	18106,26	190,3
Piso 5	6318,55	16051,41	154,0
Piso 6	6274,30	14496,63	131,0
Cobertura da laje acessível	6254,69	13746,64	119,8
Cobertura da laje dos acessos	485,21	1122,03	131,2

#### 5.3.4. Análise das quantidades dos materiais e dos custos dos pilares, por piso

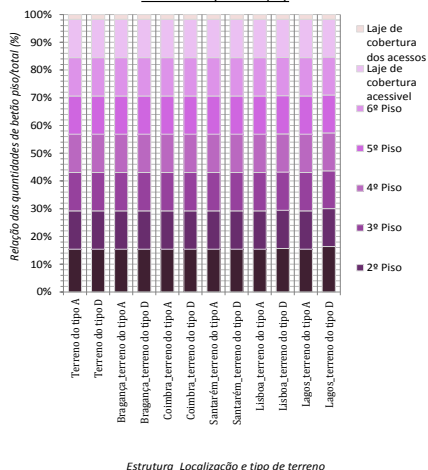
Verifica-se para quase todos os pisos e para quase todos os casos em estudo, que são necessários cerca de 15 m<sup>3</sup> de betão por piso. Nos casos de Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D as quantidades de betão utilizadas nos pilares rondam os 20 m<sup>3</sup> e 27 m<sup>3</sup>, respectivamente. Tal facto deve-se à necessidade de aumentar as secções dos pilares nestes dois casos, para verificação dos Estados Limites Últimos de Resistência.

A nível das quantidades de aço utilizadas nos pilares, verifica-se, regra geral, uma diminuição das quantidades dos pisos inferiores para os pisos superiores, e um aumento das estruturas localizadas mais a Norte para as estruturas localizadas mais a Sul, e do tipo de terreno A para o terreno do tipo D, para as mesmas localidades. Verifica-se também que as estruturas com mais aço utilizado nos pilares foram Lagos\_terreno do tipo A e Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D, com um total de ~15000 kg, 33000 kg e 43000 kg de aço, respectivamente.

A nível de custos verifica-se, regra geral, uma diminuição dos custos dos pisos inferiores para os pisos superiores, e um aumento das estruturas localizadas mais a Norte para as estruturas localizadas mais a Sul, e do tipo de terreno A para o terreno do tipo D, para as mesmas localidades. Também nos pilares, o custo está muito associado à quantidade de aço necessária.

Verifica-se que as estruturas menos económicas nos pilares foram Lagos\_terreno do tipo A e Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D, com um total de ~15000 €, 28000€ e 48000 €, respectivamente. No Quadro 5.6., apresenta-se, em síntese, a análise das quantidades dos materiais e dos custos dos pilares, por piso. No Quadro 5.7. estão representadas as variações entre a estrutura de referência, onde não é considerada a acção sísmica, e o caso no qual a acção sísmica implica o maior agravamento no dimensionamento dos pilares (para o mesmo tipo de terreno), quer ao nível das quantidades dos materiais, quer ao nível dos custos, por piso.

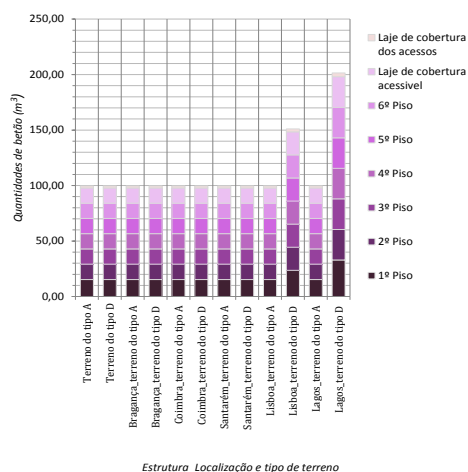
Quantidade de betão nos pilares do piso /Quantidade total de betão nos pilares (%)



Estrutura\_Localização e tipo de terreno

Fig. 5.18.a) Quantidade de betão nos pilares do piso/Quantidade total de betão nos pilares (%)

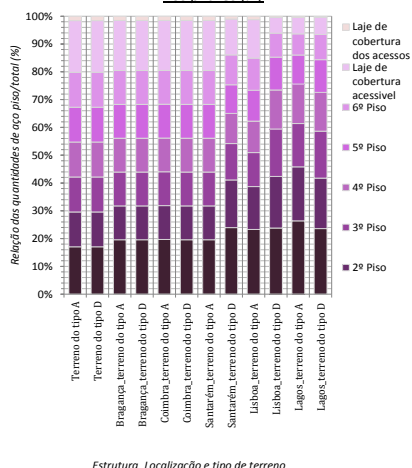
Quantidade de betão nos pilares (m³)



Estrutura\_Localização e tipo de terreno

Fig. 5.18.b) Quantidade de betão nos pilares (m3).

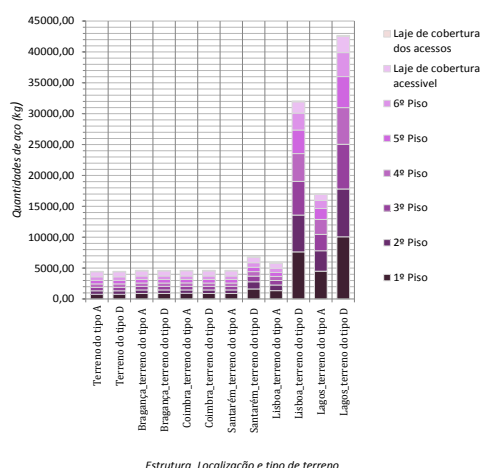
Quantidade de aço nos pilares do piso /Quantidade total de aço nos pilares (%)



Estrutura\_Localização e tipo de terreno

Fig. 5.18.c) Quantidade de aço nos pilares do piso/Quantidade total de betão nos pilares (%)

Quantidade de aço nos pilares (kg)



Estrutura\_Localização e tipo de terreno

Fig. 5.18.d) Quantidade de aço nos pilares (kg)

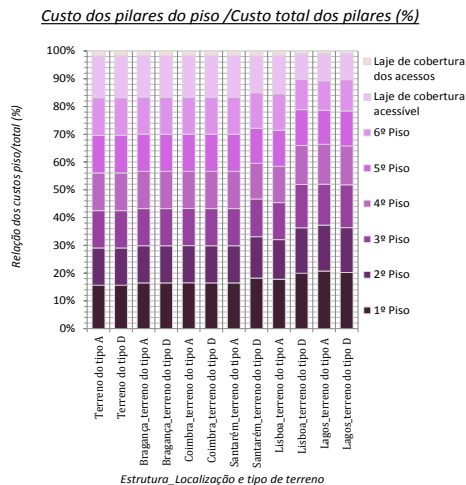


Fig. 5.18.e) Custo dos pilares do piso/  
Custo total dos pilares (%).

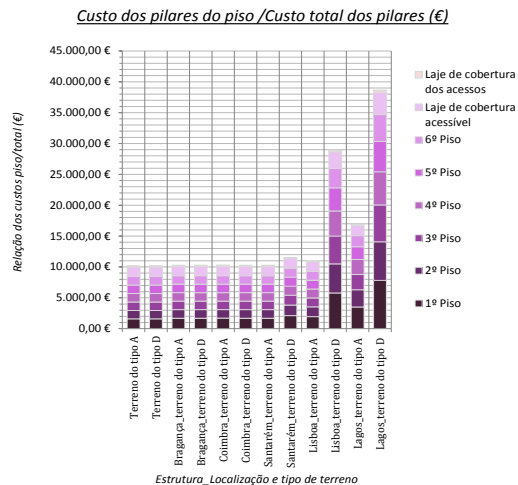


Fig. 5.18.f) Custo dos pilares do piso/  
Custo total dos pilares (€).

Quadro 5.6. Quadro síntese da análise das quantidades dos materiais e dos custos dos pilares, por piso

Análise	$\Delta\%$ (entre pisos)	$\Delta$ (entre casos)	Quantidades por piso	Estruturas menos económicas
Betão	Constante para todos os casos em estudo	Constante para todos os casos em estudo, excepto para Lisboa e Lagos_terreno do tipo D, onde as quantidades de betão foram maiores	95 m <sup>3</sup> para Lisboa_terreno do tipo D, 145 m <sup>3</sup> para Lagos_terreno do tipo D e 65 m <sup>3</sup> para os restantes casos	-
Aço	Diminuição das quantidades dos pisos inferiores para os pisos superiores, para todos os casos em estudo.	Aumento nos casos das estruturas localizadas mais a Norte para as estruturas localizadas mais a Sul, e do tipo de terreno A para o terreno do tipo D, para as mesmas localidades.	-	Lisboa e Lagos_terreno do tipo D, com um total de ~70000 kg e 100000 kg de aço, respectivamente
Custos com os materiais	Diminuição dos custos dos pisos inferiores para os pisos superiores, para todos os casos em estudo.	Aumento nos casos das estruturas localizadas mais a Norte para as estruturas localizadas mais a Sul, e do tipo de terreno A para o terreno do tipo D, para as mesmas localidades.	-	Lisboa e Lagos_terreno do tipo D, com um total de ~90000€ e 135000 €, respectivamente

Quadro 5.7. Variação entre a estrutura de referência e o caso de estudo mais gravoso, nas quantidades máximas dos materiais e nos custos dos pilares, por piso

Piso	Betão (m <sup>3</sup> )		Variação das quantidades (%)
	Quantidades Estrutura_terreno do tipo D	Quantidades Lagos_terreno do tipo D	
Piso 1	15,36	32,96	114,6
Piso 2	13,76	27,52	100,0
Piso 3	13,76	27,52	100,0
Piso 4	13,76	27,52	100,0
Piso 5	13,76	27,52	100,0
Piso 6	13,76	27,52	100,0
Cobertura da laje acessível	13,76	27,52	100,0
Cobertura da laje dos acessos	1,72	3,44	100,0

Piso	Aço (kg)		Variação das quantidades (%)
	Quantidades	Quantidades	
	Estrutura_terreno do tipo D	Lagos_terreno do tipo D	
Piso 1	764,43	10069,46	1217,3
Piso 2	563,72	7751,76	1275,1
Piso 3	564,00	7222,56	1180,6
Piso 4	564,16	5949,11	954,5
Piso 5	564,16	5013,22	788,6
Piso 6	564,16	3893,26	590,1
Cobertura da laje acessível	833,55	2627,81	215,3
Cobertura da laje dos acessos	70,52	159,61	126,3

Piso	Custos (€)		Variação dos custos (%)
	Custos	Custos	
	Estrutura_terreno do tipo D	Lagos_terreno do tipo D	
Piso 1	1592,90	7834,27	391,8
Piso 2	1361,33	6233,92	357,9
Piso 3	1367,76	5977,95	337,1
Piso 4	1377,72	5379,70	290,5
Piso 5	1377,72	4895,27	255,3
Piso 6	1377,72	4353,69	216,0
Cobertura da laje acessível	1539,19	3647,68	137,0
Cobertura da laje dos acessos	172,22	354,52	105,9

### 5.3.5. Análise das quantidades dos materiais e dos custos das sapatas

Nas sapatas verifica-se que as quantidades de betão e aço necessárias têm um aumento das estruturas localizadas mais a Norte para as estruturas localizadas mais a Sul, e do tipo de terreno A para o terreno do tipo D, para as mesmas localidades.

No que se refere às quantidades de betão, verifica-se que as estruturas com mais betão gasto nas sapatas foram Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D, com um total de  $\sim 500 \text{ m}^3$  e  $700 \text{ m}^3$  de betão, respectivamente. Nos outros casos em estudo o gasto médio de betão nas sapatas foi de  $100 \text{ m}^3$  a  $150 \text{ m}^3$ .

No que se refere às quantidades de aço, verifica-se que as estruturas com mais aço nas sapatas foram Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D, com um total de  $\sim 11000 \text{ kg}$  e  $33000 \text{ kg}$  de aço, respectivamente. Nos outros casos em estudo é necessário, em média, para as sapatas  $2500 \text{ kg}$  a  $4000 \text{ kg}$  de aço.

A nível de custos verifica-se, regra geral, um aumento das estruturas localizadas mais a Norte para as estruturas localizadas mais a Sul, e do tipo de terreno A para o terreno do tipo D, para as mesmas localidades.

Verifica-se que as fundações mais dispendiosas foram Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D, com um total de  $\sim 40000 \text{ €}$  e  $70000 \text{ €}$  gastos nas sapatas, respectivamente. Nos outros casos em estudo o custo médio das sapatas foi de  $10000 \text{ €}$  a  $15000 \text{ €}$ . No Quadro 5.8, apresenta-se, em síntese, a análise das quantidades dos materiais e dos custos das sapatas. As variações entre a estrutura de referência de terreno do tipo D e Lagos\_terreno do tipo D, a mais desfavorável, ao nível das quantidades de betão foi de 330,1%, ao nível das quantidades de aço foi de 596,2% e, ao nível dos custos de 371%.



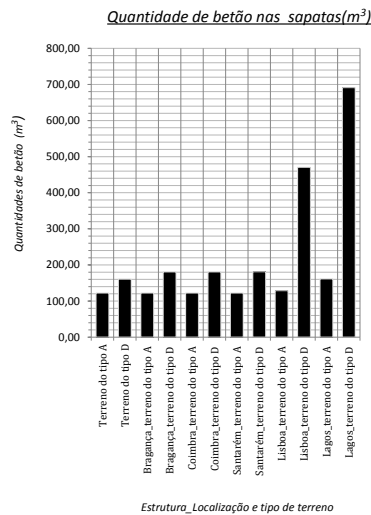
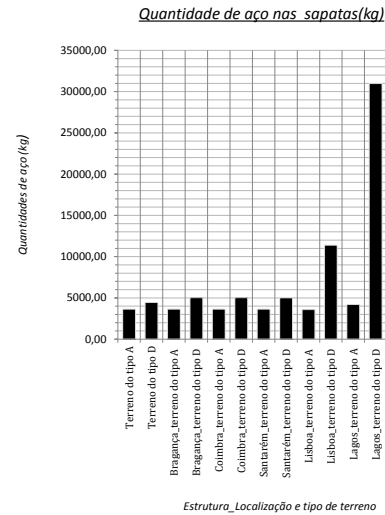
Fig. 5.19.a) Quantidade de betão nas sapatas (m<sup>3</sup>)

Fig. 5.19.b) Quantidade de aço nas sapatas (kg)

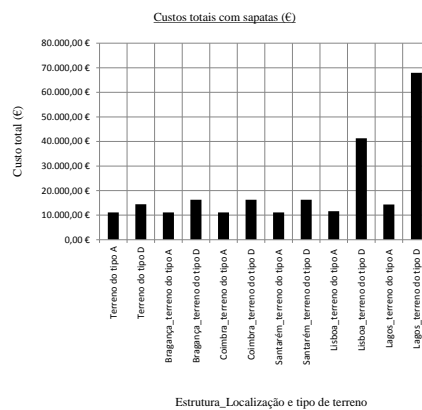


Fig. 5.19.c) Custo total com as sapatas (€)

Quadro 5.8. Quadro síntese da análise das quantidades dos materiais e dos custos das sapatas

Análise	Δ (entre casos)	Estruturas menos económicas
Betão	Aumento nos casos das estruturas localizadas mais a Norte para as estruturas localizadas mais a Sul, e do tipo de terreno A para o terreno do tipo D, para as mesmas localidades.	Lisboa e Lagos_terreno do tipo D, com um total de ~500 m <sup>3</sup> e 700 m <sup>3</sup> de betão, respectivamente.
Aço	Aumento nos casos das estruturas localizadas mais a Norte para as estruturas localizadas mais a Sul, e do tipo de terreno A para o terreno do tipo D, para as mesmas localidades.	Lisboa e Lagos_terreno do tipo D, com um total de ~11000 kg e 33000 kg de aço, respectivamente
Custos com os materiais	Aumento nos casos das estruturas localizadas mais a Norte para as estruturas localizadas mais a Sul, e do tipo de terreno A para o terreno do tipo D, para as mesmas localidades.	Lisboa e Lagos_terreno do tipo D, com um total de ~40000 € e 70000€ gastos nas sapatas, respectivamente

### 5.3.6. Análise das quantidades e dos custos, por piso

A variação do betão utilizado nos pisos é praticamente homogénea, quer se trate de estruturas construídas num terreno do tipo A ou, quer se trate de estruturas construídas num terreno do tipo D, para todos os casos em estudo, com excepção das estruturas localizadas em Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D, em que verifica-se que as fundações têm um peso muito maior no que respeita à variação das quantidades de betão utilizadas nos pisos. Verifica-se para quase todas as estruturas que as quantidades de betão utilizadas são da ordem dos 10% para as fundações e 15% para os pisos seguintes e, que para as estruturas Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D, essas percentagens são de 20% e 10%, respectivamente.

Ao nível das quantidades de aço utilizadas nos pisos, verifica-se a tendência das quantidades de betão utilizadas nos pisos, com excepção de Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D e Lisboa\_terreno do tipo A, em que se nota uma necessidade maior de aço nos pisos inferiores, em detrimento do aço utilizado nos pisos superiores. Verifica-se para quase todas as estruturas que as quantidades de aço utilizadas são da ordem dos 5% para as fundações e 15% para os pisos seguintes e, que para as estruturas Lisboa\_terreno do tipo A e Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D, essas percentagens são de 10%, 3% e 12%, para as fundações, respectivamente, sendo que, para estes casos, a variação entre pisos superiores é proporcional, na ordem de 1,5.

A nível de custos verifica-se, regra geral, a tendência da variação do betão utilizado nos pisos. No Quadro 5.9 apresenta-se, em síntese, a análise das quantidades dos materiais e dos custos, por piso. No Quadro 5.10. estão representadas as variações entre a estrutura de referência, onde não é considerada a acção sísmica e o caso mais gravoso (para o mesmo tipo de terreno), quer ao nível das quantidades dos materiais, quer ao nível dos custos, por piso.

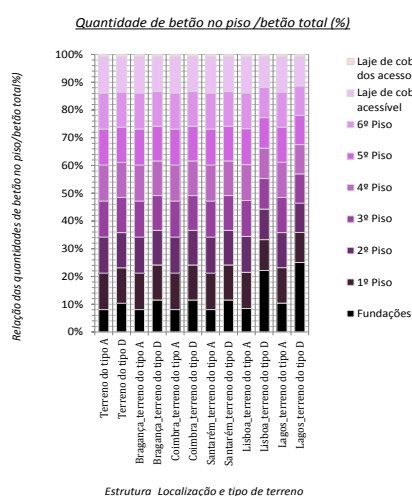


Fig. 5.20.a) Quantidade de betão no piso/  
betão total (%)

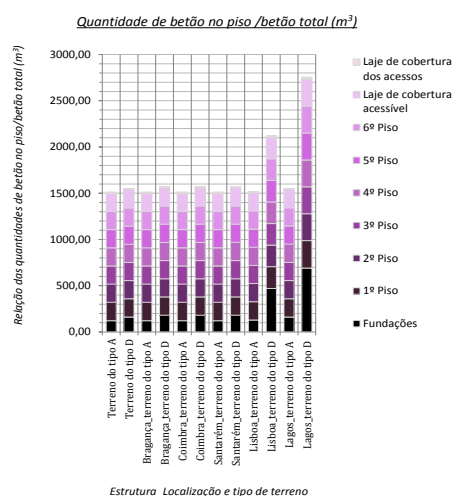


Fig. 5.20.b) Quantidade de betão no piso/  
betão total (m³)

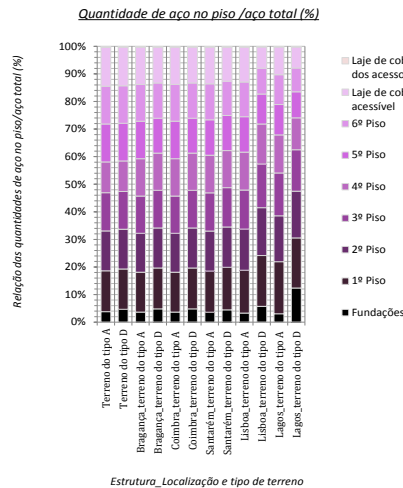


Fig. 5.20.c) Quantidade de aço no piso/aço total (%)

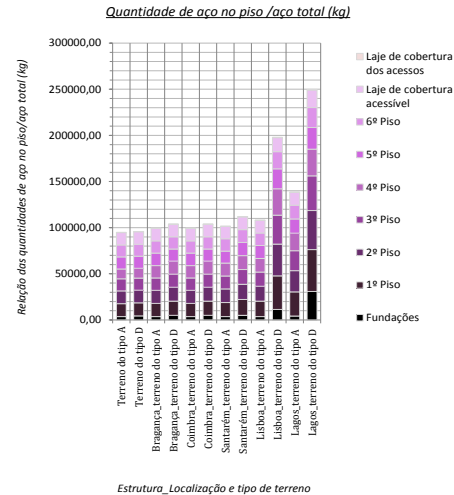


Fig. 5.20.d) Quantidade de aço no piso/aço total (kg)

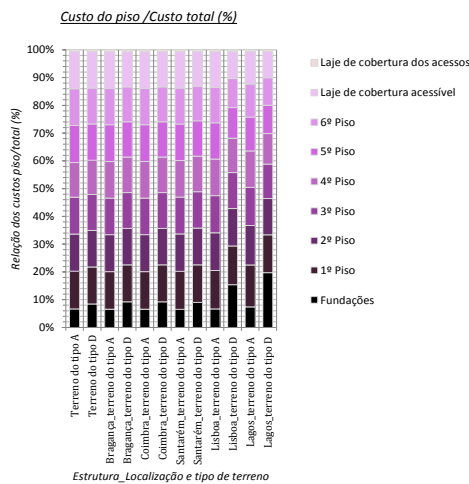


Fig. 5.20.e) Custo do piso/custo total (%)

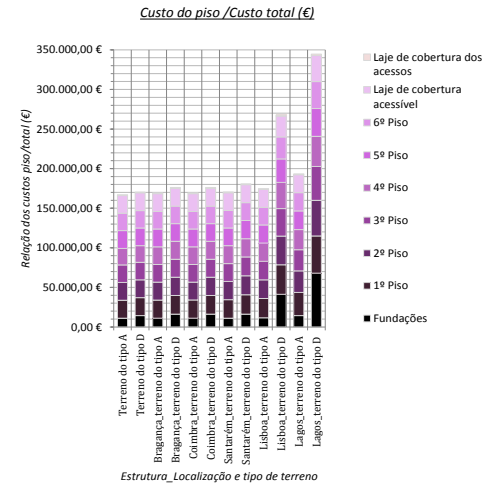


Fig. 5.20.f) Custo do piso/custo total (€)

## Quadro 5.9. Quadro síntese da análise das quantidades dos materiais e dos custos, por piso.

Análise	$\Delta\%$ (entre pisos)	Pesos entre pisos	Piso menos económico/localização
Betão	Homogénea para todos os casos do terreno do tipo A. Homogénea para todos os casos do terreno do tipo D, com excepção de Lisboa e Lagos_terreno do tipo D.	10% para as fundações e 15% para os pisos seguintes para todos os casos em estudo, com excepção de Lisboa e Lagos_terreno do tipo D, onde essas percentagens são de 20% e 25%, respectivamente.	Fundações de Lisboa e Lagos_terreno do tipo D, com 500 m <sup>3</sup> e 750 m <sup>3</sup> de betão utilizado, respectivamente.
Aço	Mesma tendência das quantidades de betão utilizadas nos pisos, com excepção de Lisboa e Lagos_terreno do tipo D e Lisboa_terreno do tipo A, em que se nota uma necessidade maior de aço nos pisos inferiores, em detrimento do aço utilizado nos pisos superiores.	5% para as fundações e 15% para os pisos seguintes, com excepção para Lisboa_terreno do tipo A e Lisboa e Lagos_terreno do tipo D, onde essas percentagens são de 10%, 3% e 12%, para as fundações, respectivamente, sendo que, para estes casos, a variação entre pisos superiores é proporcional, na ordem de 1,5.	20% do aço é utilizado no 0º piso, em todos os casos. No que se refere às quantidades, o 1º piso de Lisboa e Lagos_terreno do tipo D, utilizaram 40000 kg e 50000 Kg de aço, respectivamente.
Custos com os materiais	Verifica-se a tendência da variação do betão utilizado nos pisos.	10% para as fundações e 15% para os pisos seguintes para todos os casos em estudo, com excepção de Lisboa e Lagos_terreno do tipo D, onde essa percentagem é de 20% e 25%, respectivamente.	Fundações de Lisboa e Lagos_terreno do tipo D, com 50000 € e 75000 €, respectivamente.

Quadro 5.10. Variação entre a estrutura de referência e o caso de estudo mais gravoso, nas quantidades dos materiais e nos custos, por piso

Piso	Betão (m <sup>3</sup> )		Variação das quantidades (%)
	Quantidades Estrutura_terreno do tipo D	Quantidades Lagos_terreno do tipo D	
Fundações	160,65	691,02	330,1
Piso 1	198,16	296,40	49,6
Piso 2	196,56	290,96	48,0
Piso 3	196,56	290,96	48,0
Piso 4	196,56	290,96	48,0
Piso 5	196,56	290,96	48,0
Piso 6	196,56	290,96	48,0
Cobertura da laje acessível	197,36	291,76	47,8
Cobertura da laje dos acessos	11,92	20,52	72,1

Piso	Aço (kg)		Variação das quantidades (%)
	Quantidades Estrutura_terreno do tipo D	Quantidades Lagos_terreno do tipo D	
Fundações	4448,52	30970,02	596,2
Piso 1	14051,01	45259,16	222,1
Piso 2	13762,46	42402,17	208,1
Piso 3	13130,34	37507,83	185,7
Piso 4	10603,15	28873,89	172,3
Piso 5	13080,59	23499,88	79,7
Piso 6	13026,94	21571,68	65,6
Cobertura da laje acessível	13419,10	19023,27	41,8
Cobertura da laje dos acessos	317,54	601,56	89,4

Piso	Custos (€)		Variação dos custos (%)
	Custos Estrutura_terreno do tipo D	Custos Lagos_terreno do tipo D	
Fundações	14431,49	67972,29	371,0
Piso 1	22920,76	47035,02	105,2
Piso 2	22576,74	44974,38	99,2
Piso 3	22172,42	42745,44	92,8
Piso 4	20951,01	38038,32	81,6
Piso 5	22335,96	35084,91	57,1
Piso 6	22079,74	34095,20	54,4
Cobertura da laje acessível	22337,65	32793,05	46,8
Cobertura da laje dos acessos	1088,33	1904,37	75,0

### 5.3.7. Análise das quantidades e dos custos, por elemento estrutural

Para o tipo de estrutura analisada, verifica-se que o elemento estrutural com maior consumo de betão são as lajes, representando ~55% do total em quase todos os casos estudados, com excepção para Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D, em que essa percentagem baixa para 30 % e 40%, respectivamente. No que respeita aos elementos estruturais viga e pilar, verifica-se que, para as quantidades de betão utilizadas, a percentagem em relação ao total é constante em todos os casos em estudo, com 30 % e 10%, respectivamente. As sapatas, regra geral, representam cerca de 10% do consumo total de betão. Mais uma vez, excepção para Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D, em que a percentagem sobe para a ordem dos 20%.

Traduzindo estas percentagens em termos de quantidade de betão, as lajes necessitam de 750 m<sup>3</sup> de betão, para todas as estruturas em estudo; as vigas de 500 m<sup>3</sup>, para todas as estruturas em estudo, excepto para Lagos\_terreno do tipo D com 1000 m<sup>3</sup>; os pilares necessitam em média de 100 m<sup>3</sup>; as sapatas de 100 m<sup>3</sup> a 150 m<sup>3</sup> para a maioria dos casos, excepto Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D como já foi referido.

A nível das quantidades de aço utilizadas, verifica-se que o elemento estrutural que consome a maior quantidade de aço são as lajes, com cerca de ~70% em relação ao total de aço. Esta percentagem é válida para quase todos os casos em estudo, com excepção para Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D e Lagos\_terreno do tipo A, em que essa percentagem baixa para 45 %, 30 % e 60%, respectivamente. Nas vigas e pilares verifica-se que, para as quantidades de aço utilizadas, que a percentagem de aço consumida é constante em todas as estruturas em estudo, com pesos na ordem dos 15 % e 5%, respectivamente. Exceptua-se os casos de Lagos\_terreno do tipo A e Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D, onde a percentagem sobe, em média, para 35 % e 15%, respectivamente. As sapatas representam, regra geral, 5 % a 10 % da quantidade de aço necessária para toda a estrutura.

No que respeita às quantidades de aço por elemento estrutural, as lajes necessitam, regra geral, de 65000 kg, para todas as estruturas em estudo; as vigas de 20000 kg, para quase todas as estruturas em estudo, excepto para Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D com 70000 kg e 10000 kg, respectivamente; os pilares de 20000 kg em média, excepto Lagos\_terreno do tipo A e Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D, onde a quantidade necessária sobe para os 30000 kg; as sapatas necessitam em média de 3000 kg, para todas as estruturas em estudo, exceptuando Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D, onde a quantidade sobe 10000 kg e 30000 kg, respectivamente.

Em termos de custos, as lajes representam cerca de 60% de todo o custo da estrutura, para todos os casos em estudo, excepto Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D, em que a percentagem desce para 40 % e 30%, respectivamente. As vigas e pilares representam em média e respectivamente 25 % e 7 % a 10% do custo da estrutura, para todas as estruturas em estudo. As sapatas representam 7 % a 10%, com excepção de Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D, onde a percentagem sobe para 20%. Traduzindo estas percentagens em valores, verifica-se que: as lajes têm um custo de 100000 €, para todas as estruturas em estudo; as vigas têm um custo de 50000€, para todas as estruturas em estudo, excepto Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D, com custos de 100000 € e 120000€, respectivamente; os pilares têm um custo de 10000€, para todas as estruturas em estudo, excepto Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D, com custos de 30000€; as sapatas têm um custo de 10000€, para todas as estruturas em estudo, excepto Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D, com custos de 40000 € e 60000€, respectivamente.

No Quadro 5.11, apresenta-se, em síntese, a análise das quantidades e dos custos, por elemento estrutural. No Quadro 5.12 estão representadas as variações entre as estruturas de referência, onde não é considerada a acção sísmica e os casos onde essa acção é mais gravosa (para o mesmo tipo de terreno), quer ao nível das quantidades dos materiais, quer ao nível dos custos, por tipo de elemento estrutural.

Quantidade de betão por tipo de elemento estrutural /  
Quantidade total de betão (%)

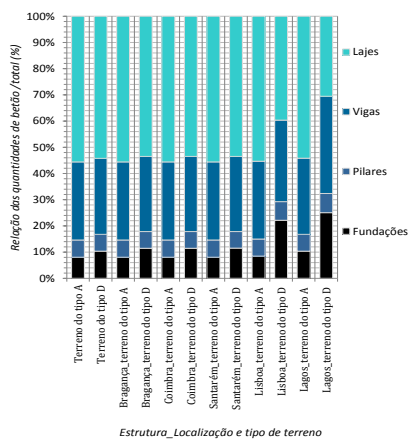


Fig. 5.21.a) Quantidade de betão por tipo de elemento estrutural /Quantidade total de betão (%)

Quantidade de betão por tipo de elemento estrutural /  
Quantidade total de betão (m³)

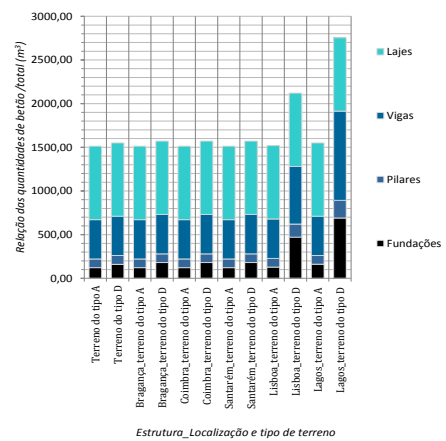


Fig. 5.21.b) Quantidade de betão por tipo de elemento estrutural (m³)

Quantidade de aço por tipo de elemento estrutural /  
Quantidade total de aço (%)

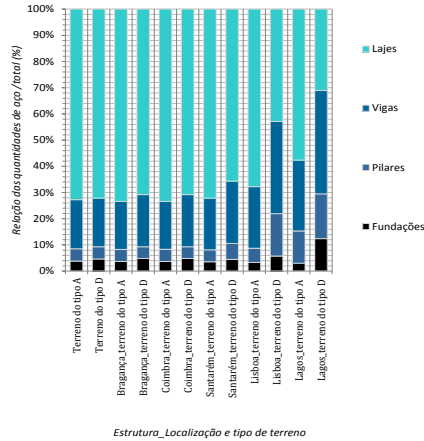


Fig. 5.21.c) Quantidade de aço por tipo de elemento estrutural /Quantidade total de aço (%)

Quantidade de aço por tipo de elemento estrutural /  
Quantidade total de aço (kg)

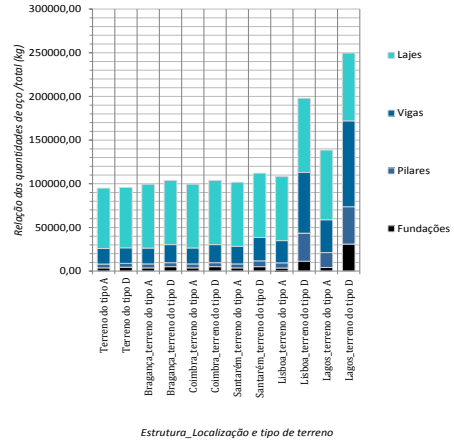


Fig. 5.21.d) Quantidade de aço por tipo de elemento estrutural (kg)

Custo dos elementos estruturais/Custo total (%)

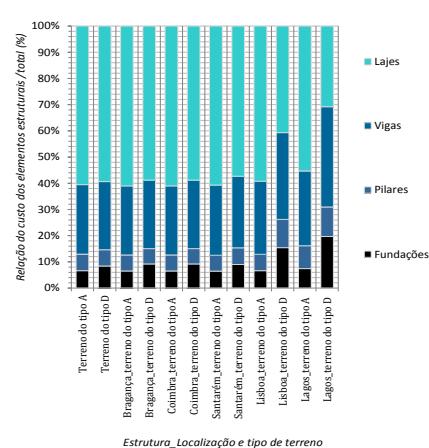


Fig. 5.21.e) Custo dos elementos estruturais/Custo total (%).

Custo dos elementos estruturais/Custo total (€)

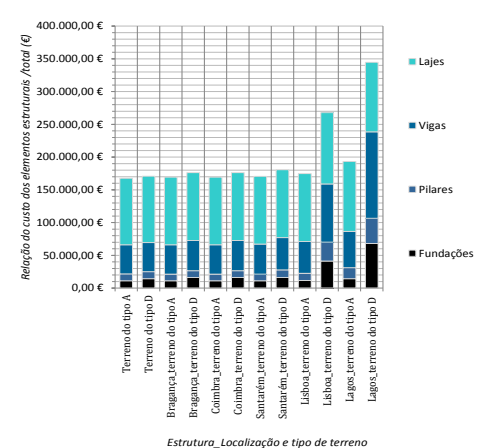


Fig. 5.21.f) Custo dos elementos estruturais/Custo total (€).

Quadro 5.11. Quadro síntese da análise das quantidades e dos custos, por tipo de elemento estrutural

Análise	Lajes	Vigas	Pilares	Sapatas
Betão	~55% do total de betão em todos os casos estudados, com excepção para Lisboa e Lagos_terreno do tipo D, com 30 % e 40%, respectivamente.	~30% do total de betão	~10% do total de betão	10% do consumo total de betão, com excepção para Lisboa e Lagos_terreno do tipo D, com 20%.
Aço	~70% em relação ao total de aço, com excepção para Lisboa e Lagos_terreno do tipo D e Lagos_terreno do tipo A, com 45 %, 30 % e 60%, respectivamente.	Lisboa_terreno do tipo D e Lagos_terreno do tipo D com 25%. Nos restantes casos, ~15%	Lisboa_terreno do tipo D e Lagos_terreno do tipo D com 15%. Nos restantes casos, ~55%	5 % e 10 % do consumo total de aço .
Custos com os materiais	~60% em relação ao custo total da estrutura, com excepção para Lisboa e Lagos_terreno do tipo D, com 40 % e 30 %, respectivamente.	25 % do custo da estrutura, para todas as estruturas em estudo.	7 % -10% do custo da estrutura, para todas as estruturas em estudo.	Lisboa e Lagos_terreno do tipo D, com 20% do custo total da estrutura. 7%-10% para os restantes casos

Quadro 5.12. Variação entre as estruturas de referência e os casos de estudo mais gravosos, nas quantidades dos materiais e dos custos, por tipo de elemento estrutural

Elemento estrutural	Quantidades de betão (m <sup>3</sup> )								
	Estrutura_terreno do tipo A	Lagos_terreno do tipo A	Variação (%)	Estrutura_terreno do tipo D	Lisboa_terreno do tipo D	Variação (%)	Estrutura_terreno do tipo D	Lagos_terreno do tipo D	Variação (%)
Fundações	122,24	161,20	31,87	160,65	470,24	192,71	160,65	691,02	330,14
Pilares	99,64	99,64	0,00	99,64	151,08	51,63	99,64	250,72	151,63
Vigas	450,40	450,40	0,00	450,40	659,84	46,50	450,40	1021,76	126,86
Lajes	840,20	840,20	0,00	840,20	840,20	0,00	840,20	840,20	0,00

Elemento estrutural	Quantidades de aço (kg)								
	Estrutura_terreno do tipo A	Lagos_terreno do tipo A	Variação (%)	Estrutura_terreno do tipo D	Lisboa_terreno do tipo D	Variação (%)	Estrutura_terreno do tipo D	Lagos_terreno do tipo D	Variação (%)
Fundações	3638,40	4193,36	15,25	4448,52	11390,08	156,04	4448,52	30970,02	596,19
Pilares	4488,70	17049,23	279,83	4488,70	32068,05	614,42	4488,70	36556,75	714,42
Vigas	17762,48	37499,81	111,12	17762,48	69541,87	291,51	17762,48	98415,52	454,06
Lajes	69139,95	79894,51	15,55	69139,95	84985,14	22,92	69139,95	77637,13	12,29

Elemento estrutural	Custos(€)								
	Estrutura_terreno do tipo A	Lagos_terreno do tipo A	Variação (%)	Estrutura_terreno do tipo D	Lisboa_terreno do tipo D	Variação (%)	Estrutura_terreno do tipo D	Lagos_terreno do tipo D	Variação (%)
Fundações	11114,70	14353,01	29,14	14431,49	41292,10	186,12	14431,49	67972,29	371,00
Pilares	10166,56	16885,09	66,08	10166,56	28922,05	184,48	10166,56	38677,00	280,43
Vigas	44417,40	55265,32	24,42	44417,40	88809,05	99,94	44417,40	132031,68	197,25
Lajes	101434,50	106906,55	5,39	101434,50	108882,34	7,34	101434,50	105961,99	4,46

### 5.3.8. Análise das quantidades e dos custos

Nos quadros seguintes estão representadas as variações, entre as estruturas de referência, onde não é considerada a acção sísmica e os casos de estudo para o mesmo tipo de terreno, quer ao nível das quantidades dos materiais, quer ao nível dos custos.

Quadro 5.13.a) Variação das quantidades dos materiais e dos custos entre a estrutura\_terreno do tipo A e os casos de estudo\_terreno do tipo A, por tipo de elemento estrutural

Estruturas	Quantidades totais com fundações						Quantidades totais com pilares					
	Betão (m3)	Variação no betão (%)	Aço (kg)	Variação no aço (%)	Custos (€)	Variação nos custos (%)	Betão (m3)	Variação no betão (%)	Aço (kg)	Variação no aço (%)	Custos (€)	Variação nos custos (%)
Terreno do tipo A	122,24		3638,40		11114,70		99,64		4488,70		10166,56	
Bragança_terreno do tipo A	122,24	0,00	3638,40	0,00	11114,70	0,00	99,64	0,00	4632,98	3,21	10300,62	1,32
Coimbra_terreno do tipo A	122,24	0,00	3638,40	0,00	11114,70	0,00	99,64	0,00	4638,42	3,34	10304,03	1,35
Santarém_terreno do tipo A	122,24	0,00	3639,20	0,02	11115,13	0,00	99,64	0,00	4632,98	3,21	10300,62	1,32
Lisboa_terreno do tipo A	128,72	5,30	3580,96	-1,58	11604,22	4,40	99,64	0,00	5873,88	30,86	11000,18	8,20
Lagos_terreno do tipo A	161,20	31,87	4193,36	15,25	14353,01	29,14	99,64	0,00	17049,23	279,83	16885,09	66,08

Estruturas	Quantidades totais com vigas					
	Betão (m3)	Variação no betão (%)	Aço (kg)	Variação no aço (%)	Custos (€)	Variação nos custos (%)
Terreno do tipo A	450,40		17762,48		44417,40	
Bragança_terreno do tipo A	450,40	0,00	18183,91	2,37	44665,10	0,56
Coimbra_terreno do tipo A	450,40	0,00	18183,40	2,37	44664,80	0,56
Santarém_terreno do tipo A	450,40	0,00	20080,71	13,05	45745,20	2,99
Lisboa_terreno do tipo A	450,40	0,00	25454,43	43,30	48696,41	9,63
Lagos_terreno do tipo A	450,40	0,00	37499,81	111,12	55265,32	24,42

Estruturas	Quantidades totais com lajes						Quantidades totais					
	Betão (m3)	Variação no betão (%)	Aço (kg)	Variação no aço (%)	Custos (€)	Variação nos custos (%)	Betão (m3)	Variação no betão (%)	Aço (kg)	Variação no aço (%)	Custos (€)	Variação nos custos (%)
Terreno do tipo A	840,20		69139,95		101434,5		1512,48		95029,53		167133,16	
Bragança_terreno do tipo A	840,20	0,00	73025,80	5,62	103282,15	1,82	1512,48	0,00	99481,09	4,68	169362,57	1,33
Coimbra_terreno do tipo A	840,20	0,00	73025,80	5,62	103282,15	1,82	1512,48	0,00	99486,02	4,69	169365,68	1,34
Santarém_terreno do tipo A	840,20	0,00	73354,85	6,10	103468,84	2,01	1512,48	0,00	101707,74	7,03	170629,79	2,09
Lisboa_terreno do tipo A	840,20	0,00	73345,82	6,08	103470,39	2,01	1518,96	0,43	108255,09	13,92	174771,20	4,57
Lagos_terreno do tipo A	840,20	0,00	79894,51	15,55	106906,55	5,39	1551,44	2,58	138636,91	45,89	193409,96	15,72

Quadro 5.13.b) Variação das quantidades dos materiais e dos custos entre a estrutura\_terreno do tipo D e os casos de estudo\_terreno do tipo D, por tipo de elemento estrutural

Estruturas	Quantidades totais com fundações						Quantidades totais com pilares					
	Betão (m3)	Variação no betão (%)	Aço (kg)	Variação no aço (%)	Custos (€)	Variação nos custos (%)	Betão (m3)	Variação no betão (%)	Aço (kg)	Variação no aço (%)	Custos (€)	Variação nos custos (%)
Terreno do tipo D	160,65		4448,52		14431,49		99,64		4488,70		10166,56	
Bragança_terreno do tipo D	180,88	12,59	5029,12	13,05	16252,17	12,62	99,64	0,00	4632,89	3,21	10300,57	1,32
Coimbra_terreno do tipo D	180,88	12,59	5029,12	13,05	16252,17	12,62	99,64	0,00	4632,98	3,21	10300,62	1,32
Santarém_terreno do tipo D	181,04	12,69	5005,28	12,52	16254,82	12,63	99,64	0,00	6830,96	52,18	11551,82	13,63
Lisboa_terreno do tipo D	470,24	192,71	11390,08	156,04	41292,10	186,12	151,08	51,63	32068,05	614,42	28922,05	184,48
Lagos_terreno do tipo D	691,02	330,14	30970,02	596,19	67972,29	371,00	201,52	102,25	42686,79	850,98	38677,00	280,43

Estruturas	Quantidades totais com vigas					
	Betão (m3)	Variação no betão (%)	Aço (kg)	Variação no aço (%)	Custos (€)	Variação nos custos (%)
Terreno do tipo D	450,40		17762,48		44417,40	
Bragança_terreno do tipoD	450,40	0,00	20703,89	16,56	46090,66	3,77
Coimbra_terreno do tipo D	450,40	0,00	20701,84	16,55	46089,47	3,76
Santarém_terreno do tipo D	450,40	0,00	26686,09	50,24	49398,89	11,22
Lisboa_terreno do tipo D	659,84	46,50	69541,87	291,51	88809,05	99,94
Lagos_terreno do tipo D	1021,76	126,86	98415,52	454,06	132031,68	197,25

Estruturas	Quantidades totais com lajes						Quantidades totais					
	Betão (m3)	Variação no betão (%)	Aço (kg)	Variação no aço (%)	Custos (€)	Variação nos custos (%)	Betão (m3)	Variação no betão (%)	Aço (kg)	Variação no aço (%)	Custos (€)	Variação nos custos (%)
Terreno do tipo D	840,20		69139,95		101434,50		1550,89		95839,65		170449,95	
Bragança_terreno do tipo D	840,20	0,00	73554,50	6,38	103555,90	2,09	1571,12	1,30	103920,40	8,43	176199,30	3,37
Coimbra_terreno do tipo D	840,20	0,00	73546,83	6,37	103551,72	2,09	1571,12	1,30	103910,77	8,42	176193,97	3,37
Santarém_terreno do tipo D	840,20	0,00	73496,87	6,30	103542,50	2,08	1571,28	1,31	112019,20	16,88	180748,04	6,04
Lisboa_terreno do tipo D	840,20	0,00	84985,14	22,92	108882,34	7,34	2121,36	36,78	197985,14	106,58	267905,54	57,18
Lagos_terreno do tipo D	840,20	0,00	77637,13	12,29	105961,99	4,46	2754,50	77,61	249709,46	160,55	344642,96	102,20



## 6. CONCLUSÕES

Neste estudo utilizou-se uma estrutura simples, com regularidade em planta e altura, porque se julgou representativa das estruturas mais correntes em Portugal. Com esta abordagem evitaram-se também problemas locais no comportamento da estrutura, pois a resolução desses problemas não era o objectivo desta dissertação.

Nesta tese procurou-se analisar uma estrutura corrente em betão armado, localizá-la geograficamente em diferentes regiões de Portugal e assente em diferentes tipos de terreno (consideraram-se aquelas duas variáveis, localização da estrutura e do tipo de terreno onde a estrutura está a assente, porque a acção sísmica depende significativamente destes dois factores), com o objectivo de avaliar o impacto que a variação da acção sísmica tem no comportamento da estrutura ao nível dos esforços e deformações e também na variação das quantidades dos materiais e do custo da estrutura.

Abaixo apresenta-se um resumo das principais conclusões obtidas neste estudo.

### *Laje*

O efeito da acção sísmica faz-se notar com maior relevância nos cantos e nos bordos da laje nos casos a Sul de Santarém terreno do tipo D.

Os momentos positivos no centro da laje não sofrem variação de caso para caso. A partir de Santarém\_terreno do tipo D começam a surgir momentos positivos consideráveis na direcção xx.

Na análise das flechas (no centro da laje), verificou-se uma pequena variabilidade de resultados. Tal facto fica a dever-se a que as flechas ao nível das lajes dependem principalmente das cargas verticais.

A nível das quantidades dos materiais utilizados, a variação percentual das quantidades de betão entre pisos e entre os vários casos, é constante, pois não houve necessidade de variação da secção das lajes. Há uma diminuição das quantidades de aço dos pisos inferiores para os pisos superiores, e um aumento das quantidades das estruturas localizadas mais a Norte para as estruturas localizadas mais a Sul, e do tipo de terreno A para o terreno do tipo D, para as mesmas localidades.

A nível comparativo entre tipos de elementos estruturais (lajes, vigas, pilares e sapatas), verifica-se que nas quantidades de betão, as lajes têm uma percentagem de cerca de 55% em relação ao betão de toda a estrutura, para todas as estruturas em estudo, com excepção para Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D, em que essa percentagem baixa para 30% e 40%.

Em relação às quantidades de aço, as lajes necessitam de ~70% do total de aço para a maioria dos casos, com excepção para Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D e Lagos\_terreno do tipo A, em que essa percentagem baixa para 45%, 30% e 60%, respectivamente.

A nível de custos, a situação é reflexo das quantidades de aço gastas, na medida em que não houve variação das quantidades de betão nas lajes.

### *Viga*

Verifica-se que a envolvente dos valores do esforço transversal não apresenta oscilação significativa ao longo da viga, em todos os casos de estudo. Os maiores valores de esforço transversal encontram-se nos extremos da viga e junto aos apoios (nas ligações pilar-viga).

Existe uma certa constância dos valores dos momentos nos extremos e ligações pilar/viga, em quase todos os casos de estudo.

No que se refere à comparação entre os casos em estudo, verifica-se que existe um aumento do esforço transversal e dos momentos das estruturas localizadas mais a Norte para as

estruturas localizadas mais a Sul, e do tipo de terreno A para o terreno do tipo D, para as mesmas localidades .

Os valores das flechas aumentam gradualmente de Norte para Sul e do tipo de terreno\_A para o tipo de terreno \_D, para as mesmas localidades. A flecha mais elevada verifica-se em Lisboa\_terreno tipo D.

As quantidades de betão utilizadas nas vigas é constante para todas as estruturas em estudo, com excepção de Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D , em que as quantidades foram maiores, porque houve necessidade de se aumentar a secção transversal da viga para resistir à acção sísmica.

A nível das quantidades de aço utilizadas, verifica-se, regra geral, uma diminuição das quantidades dos pisos inferiores para os pisos superiores, e um aumento das quantidades das estruturas localizadas mais a Norte para as estruturas localizadas mais a Sul, e do tipo de terreno A para o terreno do tipo D, para as mesmas localidades .

A nível comparativo entre tipos de elementos estruturais, verifica-se que as vigas necessitam de 30% do betão de toda a estrutura e essa percentagem é constante em todos os casos estudados. No que respeita às quantidades de aço, essa percentagem é da ordem dos 15% e é também constante em quase todos os casos, com excepção de Lagos\_terreno do tipo A e Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D, onde essa percentagem sobe para 25%.

A nível de custos verifica-se, regra geral, uma diminuição dos custos dos pisos inferiores para os pisos superiores, e um aumento dos custos das estruturas localizadas mais a Norte para as estruturas localizadas mais a Sul, e do tipo de terreno A para o terreno do tipo D, para as mesmas localidades.

Em geral, as vigas representam cerca de 25% do custo da estrutura.

### ***Pilares***

Esforços axiais, esforços transversos e de momentos flectores elevados na base dos pilares “1” e “2” em todos os casos estudados. Como seria de esperar, os valores dos esforços axiais, esforços transversos e de momentos decrescem em altura do edifício e verifica-se um aumento gradual do esforço axial, do esforço transverso e dos momentos, de Norte para Sul e do tipo de terreno\_A para o tipo de terreno\_D. É de realçar o facto de que em termos de esforços, entre casos, os valores mais elevados verificam-se em Lisboa e Lagos\_terrenos do tipo D.

Os deslocamentos máximos, por piso, são relativamente elevados. Estes valores máximos registam-se ao nível da cobertura dos acessos e são da ordem dos 150 mm tanto na direcção xx como yy. Estes valores são para o caso de Lagos\_terreno do tipo D. À semelhança dos outros parâmetros de análise os deslocamentos aumentam gradualmente de Norte para Sul e do tipo de terreno A para o tipo de terreno D, para as mesmas localidades, e para todas as direcções, xx, yy. Considerando o deslocamento da estrutura em altura, há evidentemente aumento dos deslocamentos desde a base até ao topo.

Manteve-se a secção de cada pilar em altura, como tal a variação percentual da quantidade de betão utilizadas entre pisos e para todas as estruturas em estudo foi constante. Consequentemente as quantidades de betão utilizadas nos pilares foram constantes para todas as estruturas em estudo, com excepção de Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D, em que as quantidades foram maiores, porque houve necessidade de aumentar a secção dos pilares para resistir à acção sísmica. No que respeita às quantidades de aço, verifica-se, regra geral, uma diminuição das quantidades dos pisos inferiores para os pisos superiores, e um aumento das

estruturas localizadas mais a Norte para as estruturas localizadas mais a Sul, e do tipo de terreno A para o terreno do tipo D, para as mesmas localidades .

Os pilares representam cerca de 10% do betão necessário para toda a estrutura. No que respeita às quantidades de aço, é constante em quase todos os casos analisados, com percentagens na ordem dos 5%, com excepção de Lagos\_terreno do tipo A e Lagos\_terreno do tipo D, em que essa percentagem sobe para 15%.

Quanto aos custos, regra geral, regista-se uma diminuição dos pisos inferiores para os pisos superiores, e um aumento dos custos das estruturas localizadas mais a Sul de Lisboa\_terreno do tipo A. As estruturas localizadas mais a Norte desta localização têm custos semelhantes no que se refere aos pilares, na medida em que não existiu a necessidade de alterar a secção e os esforços provocados pela acção sísmica nestes elementos não conduziram a variações significativas em termos de custos.

Em média os pilares representam cerca de 10% do custo da estrutura

### ***Sapatas***

No estudo das sapatas há que destacar a verificação da segurança ao Estado Limite Último de Resistência e ao Estado Limite de Serviço. No que respeita às ao Estado Limite Último de Resistência, os maiores esforços, neste caso esforço axial, para o dimensionamento das sapatas ronda os 3500 kN, para todas as estruturas em estudo. O esforço transversal e os momentos são praticamente nulos nas localizações mais a Norte, com incrementos crescentes para Sul, onde o valor máximo se regista em Lagos\_terreno do tipo D, com 600 kN e 1600 kN.m na direcção yy. Na direcção em xx esse valor é de 600 kN.m.

No que respeita à verificação ao Estado Limite de Serviço o maior esforço axial ronda os 2000 kN, para todas as estruturas em estudo e o esforço transversal e os momentos são praticamente nulos.

Verifica-se um aumento nas quantidades de betão e de aço e dos custos das estruturas localizadas mais a Norte para as estruturas localizadas mais a Sul, e do tipo de terreno A para o terreno do tipo D, para as mesmas localidades. Registou-se um aumento desproporcional nas estruturas localizadas em Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D.

A nível comparativo entre elementos estruturais, verifica-se que as sapatas necessitam de cerca de 10% da quantidade de betão utilizada em toda a estrutura em quase todos os casos, excepto para Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D, onde essa percentagem sobe para os 20%. No que respeita às quantidades de aço, a percentagem em relação ao total varia entre 5 e 10%, para todas as estruturas em estudo.

As sapatas, em média, representam cerca de 10% do custo de toda a estrutura, com excepção de Lisboa e Lagos\_terreno do tipo D, onde os custos sobem para 20%.

### **Sugestões para trabalhos futuros**

Na sequência da presente tese, sugere-se que seja realizado um estudo mais exaustivo do efeito da acção sísmica numa estrutura de betão armado corrente considerando agora todas as combinações possíveis entre o zonamento geográfico da acção sísmica do tipo I e o zonamento geográfico da acção sísmica do tipo II, de acordo com a NP EN 1998-1, NA-3.2.2.1(4), Fig. I.

Se se considerar apenas as localidades em Portugal Continental, verifica-se que são 11 o número possível de combinações diferentes (ver Quadro 6.1).

Posteriormente, cada um destes casos seria combinado com todos os tipos de terreno previstos em 3.1.2 (1) da NP EN 1998-1 (ver Quadro 6.2).

Sugere-se também para trabalhos futuros a realização de um estudo semelhante ao referido anteriormente mas considerando agora uma estrutura de betão armado com paredes de betão ou mesmo uma estrutura metálica.

É de salientar que o estudo agora realizado foi respeitante às combinações (acção sísmica do tipo I combinada com a acção sísmica do tipo II) 1, 4, 8, 10 e 11. Posteriormente estas combinações foram combinadas com os tipos de terreno A e D.

Quadro 6.1. Possibilidades de aceleração sísmica em Portugal, previstos na NP EN 1998-1-1

Combinação		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Acção sísmica	Tipo 1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5	1.6	1.6
	Tipo 2	2.3	2.3	2.4	2.3	2.4	2.3	2.4	2.3	2.4	2.4	2.5
		Lagos	Lisboa				Santarém			Coimbra	Bragança	

Quadro 6.2. Tipos de terreno previstos na NP EN 1998-1-1, não considerando os tipos de terreno especiais  $S_1$  e  $S_2$ .

Tipos de terreno previstos na NP EN 1998-1	A	B	C	D	E
--	---	---	---	---	---

## Referências bibliográficas

- [1] Appleton, Júlio; Construções em betão-Nota histórica sobre a sua evolução; IST, Lisboa; 2013.
- [2] EEA; Technical report N° 13, Mapping the impacts of natural hazards and technological accidents in Europe. An overview of the last decade.; European Environment Agency; Copenhagen, Dinamarca; 2010.
- [3] Eduardo Ruíz-Healy; Sismo em “Izmit”, Turquia; Cidade do México; 17/8/1999.
- [4] Sismo em “L’Áquila”, Itália; Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Roma, Itália; 6/4/2009.
- [5] Domingos, Luís; Sismos; Terra Planeta “Vivo”; 2015.
- [6] Smith, K. Routledge; Environmental Hazards: Assessing risk and reducing disaster; London; 2004.
- [7] Hewitt, K. Longman; Regions of Risk. A geographical introduction to disasters.; London; 1997.
- [8] Wisner, B. et al.; At Risk-Natural hazards, people's vulnerability and disasters; Wiltshire; 2004.
- [9] USNIDR; United Nations International Strategy for Disaster Reduction – Terminology; UNISDR; Genébra, Suíça; 2010.
- [10] USGS; Sismos mais destrutivos em todo o mundo, com mais de 50000 mortes; U.S. Geological Survey (USGS); Reston, Virgínia, U.S.A.
- [11] USGS; Localização das placas tectónicas; U.S. Geological Survey (USGS); Reston, Virgínia, U.S.A.; 19/9/2011.
- [12] Jiménez et al.; Modelo do risco sísmico para a região Europa-Mediterrâneo. GeoForschungsZentrum (GFZ); Potsdam, Germany; 2003.
- [13] Rodriguez, J. et al.; Annual Disaster Statistical Review. The numbers and trends.; Université Catholique de Louvain, Brussels; 2009.
- [14] Kundzewicz, Z.W.; Is the frequency and intensity of flooding changing in Europe?; Berlin- Heidelberg; 2005.
- [15] Bouwer, L.M. et al.; Disaster Management: Confronting Disaster Losses; Science 318, Washington, DC, U.S.A.; 2007.
- [16] FOCP; Ciclo da gestão integrada do risco; Swiss Federal Office for Civil Protection ; Berna, Suíça; 2010.
- [17] C.C.E.; Abordagem comunitária sobre a prevenção de catástrofes naturais ou provocadas pelo homem; Comissão das Comunidades Europeias; Bruxelas; 23/2/2009.
- [18] C.E.U.; Council Conclusions on a Community framework on disaster prevention within the EU.; Council of the European Union; Brussels; 30/11/2009.
- [19] Scholz, C.H.; The mechanics of Earthquakes and Faultings.; Cambridge, New York; 1990.
- [20] Guerreiro, Luís; Reabilitação Sísmica de Edifícios.; Instituto Superior Técnico (IST), Lisboa; 2011.
- [21] Martelli, A. and Forni, M.; State of the art on application, R&D and design rules for seismic isolation, energy dissipation and vibration control for civil structures, industrial plants and cultural heritage in Italy and other countries; Guangzhou, China; 2009.
- [22] SPES; Sismicidade histórica em Portugal Continental; Sociedade Portuguesa de Engenharia Sísmica, Lisboa; 5/8/2003.
- [23] Coelho, Silvério; Tecnologia das fundações; E.P.G.E., Arruda dos Vinhos; 1996
- [24] Saraiva, Jorge; Actas do colóquio Catástrofes Naturais: Uma realidade multidimensional; Faculdade de Direito, Lisboa; 24/10/2012

- [25] Silva, Miguel Belford; O papel da protecção civil na prevenção e mitigação de catástrofes naturais em Portugal.; Autoridade Nacional de Protecção Civil (ANPC), Carnaxide; 2012.
- [26] DL 75/2007; Lei Orgânica da Autoridade Nacional de Protecção Civil (ANPC); Diário da República, nº 63 (série I), Lisboa; 29/03/2007.
- [27] DL 27/2006; Código Genético da Protecção Civil; Diário da República, nº 126 (série I), Lisboa; 03/07/2006.
- [28] Texto de apoio à aula 11; Minimização dos riscos sísmicos – previsão e prevenção; Universidade Nova; Lisboa
- [29] Diário de Notícias; 15 grandes questões sobre os sismos em Portugal; Lisboa; 18/12/2009.
- [30] Carvalho, Eduardo C.; Visão geral do Eurocódigo 8; Lisboa; 2011.
- [31] Lopes, Hugo Miguel; Comparação do Eurocódigo 8 com o RSA/REBAP: Dimensionamento Sísmico de Estruturas de Betão Armado; Dissertação de Mestrado, IST, Lisboa; 2007.
- [32] Sousa, J.; Amplificação de Vibrações Sísmicas Nalguns Solos de Lisboa; Dissertação de Mestrado, IST, Lisboa; 2004.
- [33] Guerreiro, L.; Revisões de análise modal e análise sísmica por espectros de resposta; Dissertação de Mestrado em Engenharia de Estruturas, IST, Lisboa; 1999.
- [34] Lopes, Mário et al; Sismos e edifícios; Edições Orion, Alfragide, Portugal, 2008
- [35] Cristina; Esforços e Flechas Elásticas em Lajes, Tabelas de Barès; IST, Lisboa

#### Link's de pesquisa

- [36] <http://www.colegioweb.com.br/relevo/a-teoria-da-tectonica-de-placas.>; Acedido a 21/10/2015
- [37] [https://pt.wikipedia.org/wiki/Escala\\_de\\_Richter.](https://pt.wikipedia.org/wiki/Escala_de_Richter.); Acedido a 25/10/2015
- [38] <http://www.proteccaocivil.pt/SistemaNacional/Comissao/Documents/Hyogo-declaration-english.>; Acedido a 29/10/2015
- [39] <http://www.tvi24.iol.pt/sociedade/videos/sismo-vai-matar-dezenas-de-milhar-em-portugal.>; Acedido a 12/11/2015
- [40] <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/60538/1/000137849.>; Acedido a 3/12/2015
- [41] <http://www.priberam.pt/dlpo/sismicidade.>; Acedido a 16/10/2016
- [42] <http://www.orçamentos.eu/preços-de-betao-pronto>; Acedido a 18/10/2016
- [43] <http://www.thomazsantos.pt>; Acedido a 18/10/2016

#### Códigos estruturais

- [44] DL 235/83; RSA: Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes; Diário da República n.º 125, (Série I), Lisboa; 31/5/1983
- [45] DL349-C/83; REBAP: Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado; Diário da República n.º 174, (Série I), Lisboa; 30/7/1983
- [46] NP EN1998-1:2010 Eurocódigo 8: Projecto de estruturas resistentes a sismos; Instituto Português da Qualidade (IPQ); Costa da Caparica.
- [47] DL 220/2008; SCIE: Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios; Diário da República n.º 220, (Série I), Lisboa; 12/11/2008
- [48] Portaria 1532/2008; Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios; Diário da República n.º 250, (Série I), Lisboa; 29/12/2008

- [49] NP EN1990:2009 Eurocódigo : bases de projecto estrutural; Instituto Português da Qualidade (IPQ); Costa da Caparica.
- [50] NP EN1991-1-1:2009 Eurocódigo 1: acções em estruturas; Instituto Português da Qualidade (IPQ); Costa da Caparica.
- [51] NP EN1992-1-1:2010 Eurocódigo 2: projecto de estruturas de betão; Instituto Português da Qualidade (IPQ); Costa da Caparica.
- [52] NP EN 1998-3:2010 Eurocódigo 8: Avaliação e reabilitação de edifícios; Instituto Português da Qualidade (IPQ); Costa da Caparica.

#### Programas informáticos de cálculo estrutural

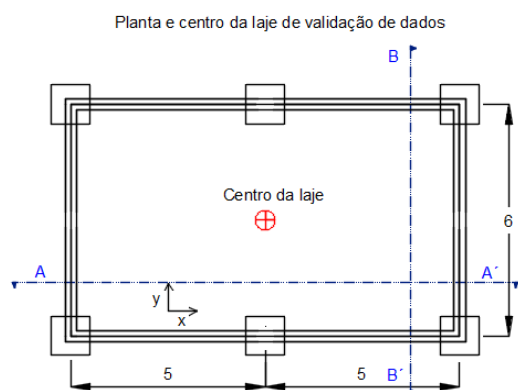
- [53] “ Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2016”, Autodesk, Inc., 16/04/2015
- [54] “FTOOL 3.00”, software de cálculo bidimensional de esforços, Luiz Fernando Martha (PUC-Rio de Janeiro), 10/04/2014





## Anexos

### Anexo I: Teste preliminar do programa utilizado



Corte A-A' e numeração dos nós no pórtico de validação de dados

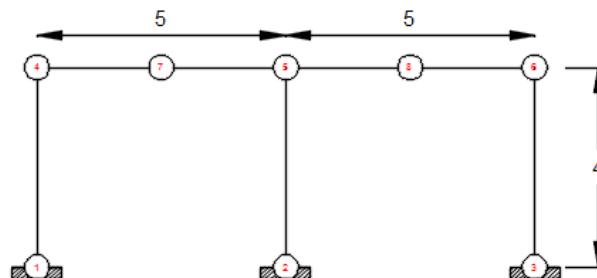


Fig. A. 1.1.a) Planta e numeração dos nós da laje de validação de resultados.

Fig. A. 1.1.b) Corte A-A' (ver fig. A. 1.1.a)) e numeração dos nós no pórtico de validação de resultados.

#### Materiais utilizados

- Betão da classe C30/37
- Aço da classe A 500 NR SD

#### Dados geométricos dos elementos estruturais

- Espessura da laje = 0,2 m
- Secção vigas = 0,3 x 0,5 m
- Secção pilares = 0,3 x 0,3 m

#### Cargas actuantes na estrutura

##### *Cargas na laje*

- Cargas gravíticas  $_1$  = Peso próprio da estrutura =  $24,53 \text{ kN/m}^3$  (valor estabelecido pelo *Robot*)
- Cargas gravíticas  $_2$  = Revestimentos + paredes divisórias =  $3 \text{ kN/m}^2$ . Assim,

$$\begin{aligned} \text{Peso próprio laje} &= G_{\text{betão}} \cdot e_{\text{laje}} = 24,53 \cdot 0,2 = 4,91 \text{ kN/m}^2. \\ \text{Revestimentos + paredes divisórias} &= \underline{3 \text{ kN/m}^2}. \\ \text{Carga total gravítica} &= 7,91 \text{ kN/m}^2. \end{aligned}$$

- Sobrecarga =  $3 \text{ kN/m}^2$

##### *Cargas na pórtico*

A soma total das cargas gravíticas na laje é de  $7,91 \text{ kN/m}^2$  e da sobrecarga de  $3 \text{ kN/m}^2$ . Este carregamento na laje provoca na viga uma descarga trapezoidal. Há ainda que considerar as seguintes acções:

$$\begin{aligned} \text{Peso próprio viga} &= 24,53 \cdot 0,3 \cdot 0,5 = 3,68 \text{ kN/m} \\ \text{Peso próprio pilares} &= 24,53 \cdot 0,3 \cdot 0,3 = 2,21 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

### Combinação de acções

Devido ao propósito de verificação de dados, considerou-se uma única combinação de acções, a combinação de acções para os Estados Limites Últimos de Resistência em que a acção variável de base é a sobrecarga:

$$E_d = \gamma_{Gj} G_{jk} + \gamma_{Qi} Q_{ik}, \text{ sendo}$$

$E_d$  o valor da carga a aplicar;  $\gamma_{Gj} = 1,35$ ;  $G_{jk}$  o valor das cargas gravíticas;  $\gamma_{Qi} = 1,5$ ;  $Q_{ik}$  o valor da sobrecarga.

### Esforços na laje

#### *Cargas de cálculo na laje, determinadas para uso das Tabelas de Barés*

Na determinação dos momentos flectores positivos, usando as *Tabelas de Barés*, o valor da carga de cálculo é determinado do seguinte modo:

$$Q_{\text{TOTAL}} = Q_1 + Q_2, \text{ com}$$

$$Q_1 = \gamma_{Gj} G_{jk} + \gamma_{Qi} Q_{ik}/2 \text{ e,}$$

$$Q_2 = \gamma_{Qi} Q_{ik}/2$$

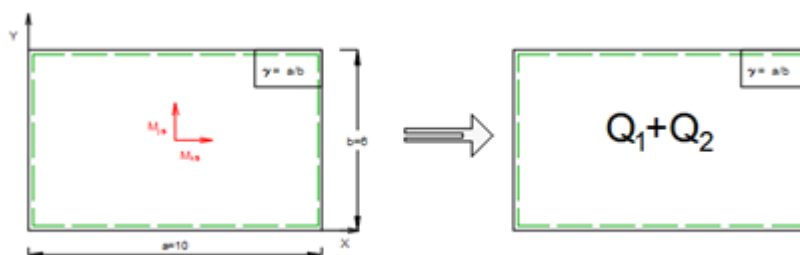


Fig. A. 1.2. Esquema figurativo da Tabela 10 de *Barés* (laje simplesmente apoiada nos bordos) e forma de determinação da carga de cálculo para determinação dos momentos flectores na laje.

Para a determinação dos valores  $M_{xs}$  e  $M_{ys}$  (valores dos momentos flectores na direcção xx e yy, respectivamente, visíveis na Fig. A. 1.2.), a consulta das tabelas estabelece que :

$$M_{xs} = c_1 * Q * a^2, \text{ sendo}$$

$c_1$ , um coeficiente estabelecido em função da relação de comprimentos da laje ( $a/b$ ),

$Q$ , o valor da carga actuante de cálculo e,

$a$ , o valor do comprimento da laje na direcção xx.

$$M_{ys} = c_2 * Q * b^2, \text{ sendo}$$

$c_2$ , um coeficiente estabelecido em função da relação de comprimentos da laje ( $a/b$ ),

$Q$ , o valor da carga actuante de cálculo e,

$b$ , o valor do comprimento da laje na direcção yy.

### Cálculo dos momentos flectores na laje, usando as Tabelas de “Barès”

$$\gamma = a/b = 10/6 = 1,67$$

$$Q_1 = 1,35 \cdot 7,91 + 1,5 \cdot 3/2 = 12,92 \text{ kN / m}^2$$

$$Q_2 = 1,5 \cdot 3/2 = 2,25 \text{ kN / m}^2$$

$$M_{xs}(Q_1) = 0,01294 \cdot 12,92 \cdot 10^2 = 16,72 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{xs}(Q_2) = 0,01294 \cdot 2,25 \cdot 10^2 = \underline{2,91 \text{ kN} \cdot \text{m}}$$

$$M_{xs} = 19,63 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{ys}(Q_1) = 0,08635 \cdot 12,92 \cdot 6^2 = 40,16 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{ys}(Q_2) = 0,08635 \cdot 2,25 \cdot 6^2 = \underline{6,99 \text{ kN} \cdot \text{m}}$$

$$M_{ys} = 47,15 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

É de notar que estes momentos flectores correspondem aos do centro da laje, ressalvando que nos apoios os momentos flectores são iguais a 0, pois trata-se de uma laje simplesmente apoiada.

### Cálculo dos momentos flectores na laje, usando o “software” de cálculo estrutural “Robot”

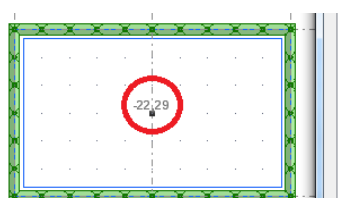


Fig. A. 1.3.a). Momentos flectores na direcção xx , usando o “ROBOT” (No “ROBOT” direcções invertidas)

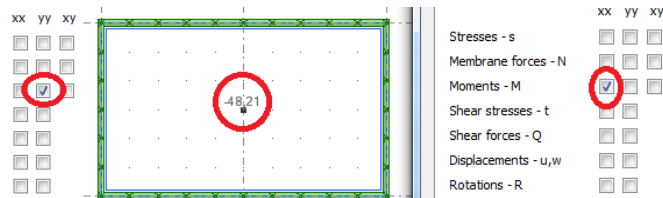


Fig. A. 1.3.b). Momentos flectores na direcção yy , usando o “ROBOT” (No “ROBOT” direcções invertidas)

Nota: O “software” de cálculo estrutural “Robot” inverte a convenção dos sinais no que respeita aos esforços de momentos (visível nas Figuras A. 1.3.a) e A. 1.3.b)).

### Comparação de resultados

Quadro. A. 1.1. Variação dos momentos flectores na laje, por comparação de resolução entre Tabelas de “Barès” e o “software” de cálculo estrutural “Autodesk Robot”.

	Tabela de “Barès”	“Autodesk Robot”	Variação (%)
$M_{xs} \text{ (kN} \cdot \text{m)}$	19,63	22,29	13,55
$M_{ys} \text{ (kN} \cdot \text{m)}$	47,15	48,21	2,25

### Análise

A variação maior na direcção xx, deve-se ao factor de escala, exacerbado pelo facto dos valores dos momentos serem relativamente baixos.

A diferença de resultados entre estas duas metodologias deve também ao facto do “software” de cálculo estrutural considerar a deformação das vigas no cálculo dos momentos nas lajes. Usando as tabelas está a assumir-se que o apoio é indeformável, não tem deslocamentos verticais. Uma outra razão possível para justificar esta diferença é que o coeficiente de Poisson considerado num e noutro caso pode ser ligeiramente diferente. Todavia, os resultados obtidos são bastante semelhantes.

## Esforços no pórtico

*Carga de cálculo na viga, determinada para uso do “software” de cálculo “FTOOL”*

$$E_d = \gamma_{Gj} G_{jk} + \gamma_{Qi} Q_{ik}, \text{ sendo}$$

$E_d$  o valor da carga a aplicar;  $\gamma_{Gj} = 1,35$ ;  $G_{jk}$  o valor das cargas gravíticas;  $\gamma_{Qi} = 1,5$ ;  $Q_{ik}$  o valor da sobrecarga.

Assim sendo :

$$\text{Carga da laje na viga} = 1,35 \cdot 7,906 + 1,5 \cdot 3 = 15,17 \text{ kN/m.}$$

$$\text{Peso próprio}_{\text{viga}} = 1,35 \cdot 3,68 = 4,97 \text{ kN/m.}$$

Valores de carga nas seguintes secções da viga :

$$X=0 \Rightarrow q = \text{peso próprio}_{\text{viga}} = 4,97 \text{ kN/m.}$$

$$X=3 \Rightarrow q = \text{peso próprio}_{\text{viga}} + 15,173 \cdot 3 = 50,5 \text{ kN/m.}$$

$$X=7 \Rightarrow q = \text{peso próprio}_{\text{viga}} + 15,173 \cdot 3 = 50,5 \text{ kN/m.}$$

$$X=10 \Rightarrow q = \text{peso próprio}_{\text{viga}} = 4,97 \text{ kN/m.}$$

*Carga de cálculo nos pilares, determinada para uso do “software” de cálculo “FTOOL”*

Numa análise bidimensional , o valor das cargas gravíticas dos pilares , reflecte-se na direcção em que é analisado , cuja possibilidade é na direcção xx ou direcção yy . Por esse motivo o peso próprio dos pilares numa análise bidimensional é repartido pelas duas direcções .

$$\text{Carga nos pilares}_{xx} = 1,35 \cdot 2,21 / 2 = 1,5 \text{ kN / m .}$$

Esquema do tipo de apoio e consequentes linhas de ruptura na laje

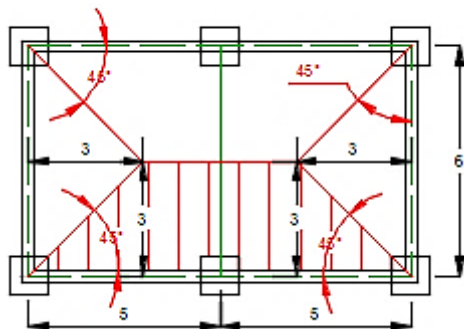


Fig. A. 1.4.a) Esquema do tipo de apoio e consequentes linhas de ruptura na laje ( a tracejado – carregamento na viga )

Cargas gravíticas de cálculo actuantes no pórtico para validação de resultados

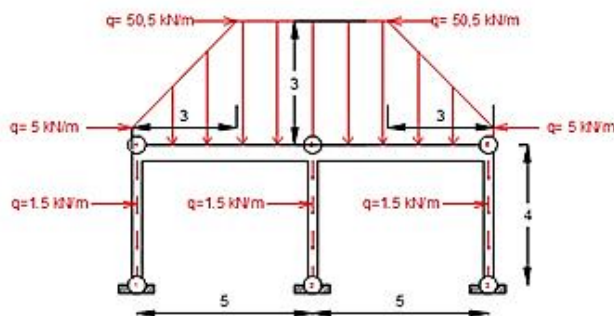


Fig. A. 1.4.b) Desenho esquemático das cargas gravíticas actuantes no pórtico para teste preliminar

## Comparação de resultados

É de notificar que o “FTOOL” é um “software” de cálculo bidimensional de esforços para estruturas relativamente simples, fornecendo resultados verídicos.

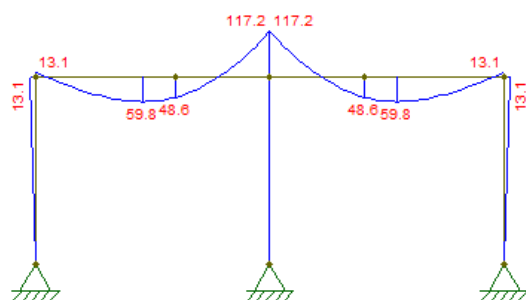


Fig. A. 1.5.a) Resultados gráficos dos momentos flectores locais no pórtico, determinados pelo "FTOOL"

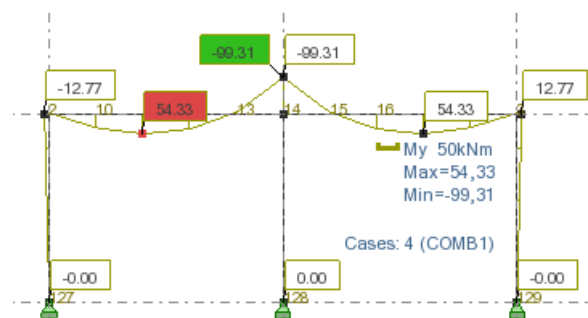


Fig. A. 1.5.b) Resultados gráficos dos momentos flectores locais no pórtico, determinados pelo "ROBOT"

Quadro A. 1.2. Variação dos momentos flectores no pórtico, por comparação de resolução entre o "software" de cálculo estrutural bidimensional "FTOOL" e o "software" de cálculo estrutural "Autodesk Robot".

Posição relativa	Nó ( pórtico )	Momentos (kN*m)		
		FTOOL	"Autodesk Robot" (local)	Variação (%)
Apoios	1	0	0	0
	2	0	0	0
	3	0	0	0
Extremos superiores dos pilares de canto	4	13,1	12,77	-2,52
	6	13,1	12,77	-2,52
Extremos da viga	4'	13,1	12,77	-2,52
	6'	13,1	12,77	-2,52
Extremo superior do pilar central	5	0	0	0
Centro da viga	5'	117,2	99,31	-15,26
1/2 vãos dos tramos da viga	7	59,8	54,33	-9,15
	8	59,8	54,33	-9,15

### Análise

Verifica-se uma variação considerável dos valores dos momentos a meio vão da viga. A variação a meio vão dos tramos da viga fica a dever-se a uma "distribuição" de esforços mais homogénea no cálculo realizado pelo "Robot". Nos extremos da viga os valores são superiores aos do "FTOOL" e a meio vão da viga inferiores. A variação igual a 0 é reflexo dos momentos serem iguais a 0, devido ao tipo de apoio e da simetria da estrutura, no caso do pilar central. Os resultados obtidos são bastante aproximados.

### Conclusões

Numa análise abrangente, poder-se-á afirmar, no que respeita aos elementos estruturais que constituem a estrutura, os resultados devolvidos pelo "software" de cálculo estrutural "Robot" são confiáveis e fidedignos.



## Anexo II: Valores dos carregamentos a aplicar

### Valores dos carregamentos permanentes estruturais

A pormenorização construtiva está presente no capítulo 3.1. págs. 31 e 32 da presente dissertação. As características mecânicas do betão usado nos elementos estruturais encontram-se descritas no capítulo 3.1. pág. 32 da presente dissertação. Para efeitos de dimensionamento da armadura, as características mecânicas do aço usado nos elementos estruturais encontram-se descritas no capítulo 3.1. ,pág. 33 da presente dissertação.

Nota 1 : O carregamento permanente estrutural não se encontra descrito , na medida que o programa de cálculo estrutural “Autodesk Robot Structural Analysis “ , por definição , converte automaticamente em peso próprio / massa os elementos estruturais desenhados .

Nota 2 : Para atribuir as cargas provocadas pelas escadas (na medida em que estes elementos não foram desenhados) nas respectivas vigas de apoio recorreu-se ao “software” da cálculo de esforços bidimensional “FTOOL” para calcular as respectivas reacções. Optou-se por não modelar as escadas no modelo global de toda a estrutura.

Quadro A. 2.1. Valor do carregamento permanente nas escadas para determinação das cargas a aplicar nas vigas de descarga das escadas através do software de cálculo estrutural bidimensional “FTOOL” .

Laje intermédia ; Cargas gravíticas :

Descrição das camadas constituintes	Dimensões	Peso volúmico <sub>material</sub>	Peso volúmico <sub>cálculo</sub>
Cantaria em mármore	e=3cm ; b=4m	27 kN/m <sup>3</sup>	3,24 kN/m
Laje betão armado (valor do peso próprio contabilizado)	e=20cm ; b=4m	24,53 kN/m <sup>3</sup>	19,624 kN/m
Revestimento interior (reboco):	e=2cm ; b=4m	18,64 kN/m <sup>3</sup>	1,491 kN/m
Total =			<u>24,355 kN/m</u>

Estabelecimento do coeficiente K = Relação comprimento total de espelhos e cobertores/comprimento laje para o lança superior

Revestimentos	Nº	Largura unitária (m)	Comprimento total da largura (m)
Cobertores	10	0,303	3,03
Espelhos 1	9	0,1545	1,3905
Espelhos 2	1	0,1246	<u>0,1246</u>
Total =			<u>4,5451</u>

$$K=4,5451/3,3677=1,3496$$

Estabelecimento do coeficiente K = Relação comprimento total de espelhos e cobertores/comprimento laje para o lança inferior

Revestimentos	Nº	Largura unitária (m)	Comprimento total da largura (m)
Cobertores	10	0,3	3
Espelhos 1	10	0,1455	<u>1,455</u>
Total =			<u>4,455</u>

$$K=4,455/3,3342=1,3362$$

Laje superior ; Cargas gravíticas :

Descrição das camadas constituintes	Dimensões	Peso volúmico <sub>material</sub>	Peso volúmico <sub>cálculo</sub>
Cantaria em mármore	e=3cm ; b=1,5m ; k=1,3496	27 kN/m <sup>3</sup>	1,64 kN/m
Laje betão armado (valor do peso próprio contabilizado)	e=20cm ; b=1,5m	24,53 kN/m <sup>3</sup>	7,36 kN/m
Revestimento interior (reboco):	e=2cm ; b=1,5m	18,64 kN/m <sup>3</sup>	0,56 kN/m
Total =			<u>9,56 kN/m</u>

Laje inferior ; Cargas gravíticas :

Descrição das camadas constituintes	Dimensões	Peso volúmico <sub>material</sub>	Peso volúmico <sub>cálculo</sub>
Cantaria em mármore	e=3cm ; b=1,5m ; k=1,3362	27 kN/m <sup>3</sup>	1,623 kN/m
Laje betão armado (valor do peso próprio contabilizado)	e=20cm ; b=1,5m	24,53 kN/m <sup>3</sup>	7,36 kN/m
Revestimento interior (reboco):	e=2cm ; b=1,5m	18,64 kN/m <sup>3</sup>	0,56 kN/m
Total =			<u>9,543 kN/m</u>

*Cargas permanentes a aplicar nas vigas de descarga das escadas (Resultados “FTOOL”):*

Esforço transversal  $z-z$  na viga superior provocado pelas cargas das escadas =  $24,4 \text{ kN}/1,5 \text{ m} = 16,27 \text{ kN/m}$   
 Esforço transversal  $z-z$  na viga inferior provocado pelas cargas das escadas =  $24,4 \text{ kN}/1,5 \text{ m} = 16,27 \text{ kN/m}$   
 Esforço transversal  $y-y$  na viga superior provocado pelas sobrecargas das escadas =  $34,5 \text{ kN}/1,5 \text{ m} = 23 \text{ kN/m}$   
 Esforço transversal  $y-y$  na viga inferior provocado pelas sobrecargas das escadas =  $-34,5 \text{ kN}/1,5 \text{ m} = -23 \text{ kN/m}$

Nota 3 : Para atribuir as cargas provocadas pelo elevador na laje de cobertura recorreu-se ao “software” da cálculo de esforços bidimensional “FTOOL” para calcular as respectivas reacções.

*Cargas permanentes na laje de cobertura do poço provocadas pelo elevador :*

Admitindo que o modelo de elevador seja o LAT 630-03 da Thissen, pressupõem-se que o elevador tenha uma carga (lotada) de:

Massa da caixa-de-elevação = 370 kg  
 Massa de carga (passageiros) = 630 kg  
 Massa do contrapeso = 400 kg  
Massa total = 1400 kg

Peso volúmico =  $1400 \times 9,81 = 13,734 \text{ kN}$   
 Área da secção do poço =  $2 \times 2 = 4 \text{ m}^2$   
 Peso volúmico =  $13,734/4 = 3,44 \text{ kN/m}^2$   
 Peso volúmico da laje =  $2,137 \text{ kN/m}^2$   
Total =  $5,577 \text{ kN/m}^2$

Quadro 4.12.a) Massa total de projecto  
(elevador LAT 630-03 da Thissen)

Quadro 4.12.b) Carga na laje de cobertura do poço  
provocada pelo elevador  
(elevador LAT 630-03 da Thissen)

Valores dos carregamentos permanentes não estruturais

Quadro A. 2.2. Valor do carregamento permanente não estrutural a aplicar nas lajes.

Recobrimentos:			
Descrição das camadas constituintes	Dimensões	Peso volúmico <sub>material</sub>	Peso volúmico <sub>cálculo</sub>
Ladrilho cerâmico	$e=1\text{cm}$	$20 \text{ kN/m}^3$	$0,2 \text{ kN/m}^2$
Camada de regularização e argamassa de colagem	$e=2\text{cm}$	$15 \text{ kN/m}^3$	$0,3 \text{ kN/m}^2$
Isolamento térmico	$e=2\text{cm}$	$0,2 \text{ kN/m}^3$	$0,004 \text{ kN/m}^2$
Camada de enchimento	$e=12\text{cm}$	$10,5 \text{ kN/m}^3$	$1,26 \text{ kN/m}^2$
Laje betão armado (valor do peso próprio não contabiliza $e=20\text{cm}$ )		$24,53 \text{ kN/m}^3$	- $\text{kN/m}^2$
Revestimento tecto(reboco):	$e=2\text{cm}$	$18,64 \text{ kN/m}^3$	$0,373 \text{ kN/m}^2$
		Subtotal =	<u><math>2,137 \text{ kN/m}^2</math></u>

Paredes divisórias (pé direito = 3,1 m):

Descrição das camadas constituintes	Dimensões	Peso volúmico <sub>material</sub>	Peso volúmico <sub>cálculo</sub>
Reboco interior	$e=1\text{cm}$	$18,64 \text{ kN/m}^3$	$0,58 \text{ kN/m}$
Tijolo cerâmico furado	$30 \times 20 \times 7 \text{ cm}$	$8,03 \text{ kN/m}^3$	$1,74 \text{ kN/m}$
Reboco exterior	$e=1\text{cm}$	$18,64 \text{ kN/m}^3$	$0,58 \text{ kN/m}$
		Subtotal =	<u><math>2,9 \text{ kN/m}</math></u>

De acordo com a NP EN 1991-1-1:2009 (EC 1), para paredes divisórias (amovíveis), com peso próprio linear inferior a  $3 \text{ kN/m}$ , e se o pavimento permitir uma distribuição eficaz das cargas, então pode-se considerar o peso próprio das paredes divisórias como uma carga uniformemente distribuída de  $1,2 \text{ kN/m}^2$ . Assim sendo, adoptar-se-á o valor de:

Subtotal =  $1,2 \text{ kN/m}^2$

Total =  $3,337 \text{ kN/m}^2$



Quadro A. 2.3. Valor do carregamento permanente não estrutural a aplicar nas varandas.

Recobrimentos:			
Descrição das camadas constituintes	Dimensões	Peso volúmico <sub>material</sub>	Peso volúmico <sub>cálculo</sub>
Ladrilho cerâmico	e=1cm	20 kN/m <sup>3</sup>	0,2 kN/m <sup>2</sup>
Camada de regularização e argamassa de colagem	e=2cm	15 kN/m <sup>3</sup>	0,3 kN/m <sup>2</sup>
Isolamento térmico	e=2cm	0,2 kN/m <sup>3</sup>	0,004 kN/m <sup>2</sup>
Camada de enchimento	e=12cm	10,5 kN/m <sup>3</sup>	1,26 kN/m <sup>2</sup>
Laje betão armado (valor do peso próprio não contabiliz e=20cm)		24,53 kN/m <sup>3</sup>	- kN/m <sup>2</sup>
Revestimento tecto(reboco):	e=2cm	18,64 kN/m <sup>3</sup>	0,373 kN/m <sup>2</sup>
		Total =	<u>2,137 kN/m<sup>2</sup></u>

Quadro A. 2.4. Valor do carregamento permanente não estrutural (paredes exteriores) a aplicar nas vigas exteriores.

Espessura total = 32 cm; Pé-direito = 2,8 m.

Descrição das camadas constituintes	Dimensões	Peso volúmico <sub>material</sub>	Peso volúmico <sub>cálculo</sub>
Reboco interior	e=2cm	18,64 kN/m <sup>3</sup>	1,04 kN/m
Tijolo cerâmico	30x20x11 cm	6,18 kN/m <sup>3</sup>	1,9 kN/m
Isolamento térmico	e=2cm	0,2 kN/m <sup>3</sup>	0,004 kN/m
Caixa-de-ar	e=4cm		-
Tijolo cerâmico	30x20x11 cm	6,18 kN/m <sup>3</sup>	1,9 kN/m
Reboco interior	e=2cm	18,64 kN/m <sup>3</sup>	1,04 kN/m
		Total =	<u>5,884 kN/m</u>

Quadro A. 2.5. Valor do carregamento permanente não estrutural (paredes dos poços elevatórios) a aplicar nas vigas de descarga das paredes dos poços elevatórios.

Espessura total = 19 cm; Pé-direito = 2,8 m.

Descrição das camadas constituintes	Dimensões	Peso volúmico <sub>material</sub>	Peso volúmico <sub>cálculo</sub>
Reboco interior	e=2cm	18,64 kN/m <sup>3</sup>	1,04 kN/m
Tijolo cerâmico	30x20x15 cm	6,18 kN/m <sup>3</sup>	2,55 kN/m
Reboco interior	e=2cm	18,64 kN/m <sup>3</sup>	1,04 kN/m
		Total =	<u>4,63 kN/m</u>

### Valores das sobrecargas a aplicar

Lajes = 2 kN/m<sup>2</sup>

Coberturas :

- Cobertura acessível = 2 kN/m<sup>2</sup>
- Cobertura não acessível = 0,4 kN/m<sup>2</sup>

Varandas :

- Zona próxima ao pavimento adjacente = 2 kN/m<sup>2</sup>
- Faixa de 1m adjacente ao parapeito = 5 kN/m<sup>2</sup>

Escadas (não desenhadas no Robot):

Patamar intermédio :

Laje betão armado: b=4m; 3 kN/m<sup>2</sup> = 12 kN/m

Laje das escadas (lanço superior):

Laje betão armado: b=1,5m; 3 kN/m<sup>2</sup> = 4,5 kN/m

Laje das escadas (lanço inferior):

Laje betão armado: b=1,5m; 3 kN/m<sup>2</sup> = 4,5 kN/m

Sobrecargas a aplicar nas vigas de descarga das escadas (Resultados “*FTOOL*”):

Esforço transversal  $z-z$  na viga superior provocado pelas sobrecargas das escadas =  $22,5 \text{ kN}/1,5 \text{ m} = 15 \text{ kN/m}$

Esforço transversal  $z-z$  na viga inferior provocado pelas sobrecargas das escadas =  $22,5 \text{ kN}/1,5 \text{ m} = 15 \text{ kN/m}$

Esforço transversal  $y-y$  na viga superior provocado pelas sobrecargas das escadas =  $29 \text{ kN}/1,5 \text{ m} = 19,33 \text{ kN/m}$

Esforço transversal  $y-y$  na viga inferior provocado pelas sobrecargas das escadas =  $-29 \text{ kN}/1,5 \text{ m} = -19,33 \text{ kN/m}$

Sobrecarga na laje de cobertura do poço do elevador:

Sobrecarga elevador =  $3 \text{ kN/m}^2$

Sobrecarga laje =  $2 \text{ kN/m}^2$

Total =  $5 \text{ kN/m}^2$

**Anexo III: Resultados de esforços**

Importa, inicialmente, salientar que os valores aqui enunciados correspondem aos valores máximos obtidos para todas as combinações de acções enunciadas, permitindo-nos obter a envolvente de esforços.

**Resultados dos esforços na laje 182:**

Estrutura	Nó	Momentos		Flecha( $U_{zz}$ (mm))	Nó	Momentos		Flecha( $U_{zz}$ (mm))	Nó	Momentos		Flecha( $U_{zz}$ (mm))
		$M_{XX}$ (kNm/m)	$M_{YY}$ (kNm/m)	$W_{Norm.}$ (mm)		$M_{XX}$ (kNm/m)	$M_{YY}$ (kNm/m)	$W_{Norm.}$ (mm)		$M_{XX}$ (kNm/m)	$M_{YY}$ (kNm/m)	$W_{Norm.}$ (mm)
Terreno do tipo A	1-	0	0	-1,911	2-	0	-2,02	-2,2185	3-	0	0	-1,786
	1+	10,47	10,71	0	2+	14,45	0	0	3+	8,39	8,99	0
Terreno do tipo D	1-	0	0	-1,911	2-	0	-2,02	-2,2185	3-	0	0	-1,786
	1+	10,47	10,71	0	2+	14,45	0	0	3+	8,39	8,99	0
Bragança_terreno do tipo A	1-	0	0	-1,911	2-	0	-2,02	-2,2185	3-	0	0	-1,786
	1+	10,47	10,71	0	2+	14,45	0	0	3+	8,95	9,16	0
Bragança_terreno do tipo D	1-	-0,38	0	-1,911	2-	0	-2,02	-2,2185	3-	-1,79	0	-1,786
	1+	14,67	14,49	0	2+	14,45	0,205	0	3+	13,7	13,74	0
Coimbra_terreno do tipo A	1-	0	0	-1,911	2-	0	-2,02	-2,2185	3-	0	0	-1,786
	1+	10,47	10,71	0	2+	14,45	0	0	3+	8,95	9,16	0
Coimbra_terreno do tipo D	1-	-0,38	0	-1,911	2-	0	-2,02	-2,2185	3-	-1,79	0	-1,786
	1+	14,67	14,49	0	2+	14,45	0,205	0	3+	13,7	13,74	0
Santarém_terreno do tipo A	1-	0	0	-1,911	2-	0	-2,02	-2,2185	3-	-1,03	0	-1,786
	1+	13,84	13,69	0	2+	14,45	0,14	0	3+	12,84	12,9	0
Santarém_terreno do tipo D	1-	-5,48	0	-1,911	2-	0	-2,02	-2,2185	3-	-7	0	-1,786
	1+	20,32	19,89	0	2+	14,45	1,29	0	3+	19,56	19,39	0
Lisboa_terreno do tipo A	1-	-4,8	0	-1,911	2-	0	-2,02	-2,2185	3-	-6,3	0	-1,786
	1+	19,56	19,16	0	2+	14,45	1,145	0	3+	18,78	18,63	0
Lisboa_terreno do tipo D	1-	-19,47	0	-1,332	2-	-2,095	-0,83	-1,518	3-	-20,57	0	-1,279
	1+	29,89	29,06	0	2+	22,955	5,79	0	3+	30,04	29,39	0
Lagos_terreno do tipo A	1-	-12,51	0	-1,911	2-	0	-2,02	-2,2185	3-	-14,17	0	-1,786
	1+	28,1	27,32	0	2+	15,855	2,79	0	3+	27,64	27,17	0
Lagos_terreno do tipo D	1-	-14,47	0	-1,051	2-	-1,965	-0,255	-1,146	3-	-14,96	0	-1,04
	1+	19,91	19,3	0	2+	22,9	5,395	0	3+	20,05	19,61	0

Estrutura	Nó	Momentos		Flecha( $U_{zz}$ (mm))	Nó	Momentos		Flecha( $U_{zz}$ (mm))	Nó	Momentos		Flecha( $U_{zz}$ (mm))
		$M_{XX}$ (kNm/m)	$M_{YY}$ (kNm/m)	$W_{Norm.}$ (mm)		$M_{XX}$ (kNm/m)	$M_{YY}$ (kNm/m)	$W_{Norm.}$ (mm)		$M_{XX}$ (kNm/m)	$M_{YY}$ (kNm/m)	$W_{Norm.}$ (mm)
Terreno do tipo A	4-	-1,82	0	-2,2395	5-	-8,47	-9,14	-2,6865	6-	-0,47	0	-1,8555
	4+	0	14,105	0	5+	0	0	0	6+	0	8,725	0
Terreno do tipo D	4-	-1,82	0	-2,2395	5-	-8,47	-9,14	-2,6865	6-	-0,47	0	-1,8555
	4+	0	14,105	0	5+	0	0	0	6+	0	8,725	0
Bragança_terreno do tipo A	4-	-1,82	0	-2,2395	5-	-8,47	-9,14	-2,6865	6-	-1,06	0	-1,8555
	4+	0	14,105	0	5+	0	0	0	6+	0,26	8,725	0
Bragança_terreno do tipo D	4-	-2,52	0	-2,2395	5-	-8,47	-9,14	-2,6865	6-	-1,88	0	-1,8555
	4+	0,38	14,105	0	5+	0	0	0	6+	1,26	8,815	0
Coimbra_terreno do tipo A	4-	-1,82	0	-2,2395	5-	-8,47	-9,14	-2,6865	6-	-1,08	0	-1,861
	4+	0	14,105	0	5+	0	0	0	6+	0,24	8,72	0
Coimbra_terreno do tipo D	4-	-2,52	0	-2,2395	5-	-8,47	-9,14	-2,6865	6-	-1,88	0	-1,8555
	4+	0,38	14,105	0	5+	0	0	0	6+	1,26	8,815	0
Santarém_terreno do tipo A	4-	-2,38	0	-2,2395	5-	-8,47	-9,14	-2,6865	6-	-1,73	0	-1,8555
	4+	0,215	14,105	0	5+	0	0	0	6+	1,08	8,725	0
Santarém_terreno do tipo D	4-	-3,47	0	-2,2395	5-	-8,47	-9,14	-2,6865	6-	-2,88	0	-1,8555
	4+	1,5	14,105	0	5+	0	0	0	6+	2,49	11,3	0
Lisboa_terreno do tipo A	4-	-3,345	0	-2,2395	5-	-8,47	-9,14	-2,6865	6-	-2,75	0	-1,8555
	4+	1,35	14,105	0	5+	0	0	0	6+	2,33	10,97	0
Lisboa_terreno do tipo D	4-	-4,265	0	-1,625	5-	-8,945	-8,47	-1,9895	6-	-4	0	-1,5505
	4+	5,975	21,585	0	5+	0	0	0	6+	6,695	23,88	0
Lagos_terreno do tipo A	4-	-4,78	0	-2,2395	5-	-8,47	-9,14	-2,6865	6-	-4,27	0	-1,8555
	4+	3,045	14,5	0	5+	0	0	0	6+	4,19	14,73	0
Lagos_terreno do tipo D	4-	-1,745	0	-1,2175	5-	-8	-8,06	-1,6205	6-	-1,62	0	-1,1955
	4+	5,505	21,985	0	5+	0	0	0	6+	5,795	23,2	0

Estrutura	Nó	Momentos		Flecha( $U_{zz}$ (mm))	Nó	Momentos		Flecha( $U_{zz}$ (mm))	Nó	Momentos		Flecha( $U_{zz}$ (mm))
		$M_{XX}$ (kNm/m)	$M_{YY}$ (kNm/m)	$W_{Norm}$ (mm)		$M_{XX}$ (kNm/m)	$M_{YY}$ (kNm/m)	$W_{Norm}$ (mm)		$M_{XX}$ (kNm/m)	$M_{YY}$ (kNm/m)	$W_{Norm}$ (mm)
Terreno do tipo A	7-	0	0	-1,91	8-	0	-2,13	-2,212	9-	0	0	-1,746
	7+	10,48	10,71	0	8+	14,41	0	0	9+	8,64	8,77	0
Terreno do tipo D	7-	0	0	-1,91	8-	0	-2,13	-2,212	9-	0	0	-1,746
	7+	10,48	10,71	0	8+	14,41	0	0	9+	8,64	8,77	0
Bragança_terreno do tipo A	7-	0	0	-1,91	8-	0	-2,13	-2,212	9-	0	0	-1,746
	7+	10,48	10,71	0	8+	14,41	0	0	9+	9,14	8,98	0
Bragança_terreno do tipo D	7-	-0,36	0	-1,91	8-	0	-2,13	-2,212	9-	-1,61	0	-1,746
	7+	14,69	14,48	0	8+	14,41	0,12	0	9+	13,88	13,54	0
Coimbra_terreno do tipo A	7-	0	0	-1,91	8-	0	-2,13	-2,212	9-	0	0	-1,746
	7+	10,48	10,71	0	8+	14,41	0	0	9+	9,14	8,98	0
Coimbra_terreno do tipo D	7-	-0,36	0	-1,91	8-	0	-2,13	-2,212	9-	-1,61	0	-1,746
	7+	14,69	14,48	0	8+	14,41	0,12	0	9+	13,88	13,54	0
Santarém_terreno do tipo A	7-	0	0	-1,91	8-	0	-2,13	-2,212	9-	-0,85	0	-1,746
	7+	13,86	13,68	0	8+	14,41	0,03	0	9+	13,02	12,71	0
Santarém_terreno do tipo D	7-	-5,45	0	-1,91	8-	0	-2,13	-2,212	9-	-6,82	0	-1,746
	7+	20,35	19,88	0	8+	14,41	1,2	0	9+	19,74	19,17	0
Lisboa_terreno do tipo A	7-	-4,77	0	-1,91	8-	0	-2,13	-2,212	9-	-6,13	0	-1,746
	7+	19,59	19,15	0	8+	14,41	1,055	0	9+	18,96	18,42	0
Lisboa_terreno do tipo D	7-	-19,42	0	-1,331	8-	-2,1	-0,875	-1,513	9-	-20,47	0	-1,253
	7+	29,93	29,03	0	8+	22,945	5,735	0	9+	30,14	29,24	0
Lagos_terreno do tipo A	7-	-12,47	0	-1,91	8-	0	-2,13	-2,212	9-	-14	0	-1,746
	7+	28,15	27,3	0	8+	15,825	2,695	0	9+	27,81	26,92	0
Lagos_terreno do tipo D	7-	-14,44	0	-1,05	8-	-1,965	-0,275	-1,142	9-	-14,9	0	-1,026
	7+	19,94	19,28	0	8+	22,9	5,365	0	9+	20,11	19,54	0

### Resultados dos esforços na viga 36...40:

Posição global (m)	Terreno do tipo A (resultados negativos)			Terreno do tipo A (resultados positivos)			Terreno do tipo D (resultados negativos)			Terreno do tipo D (resultados positivos)		
	Esforço transversal	Esforço de momentos	Flechas	Esforço transversal	Esforço de momentos	Flechas	Esforço transversal	Esforço de momentos	Flechas	Esforço transversal	Esforço de momentos	Flechas
	$Q_z$ (kN)	$M_y$ (kNm)	$W_z$ (mm)	$Q_z$ (kN)	$M_y$ (kNm)	$W_z$ (mm)	$Q_z$ (kN)	$M_y$ (kNm)	$W_z$ (mm)	$Q_z$ (kN)	$M_y$ (kNm)	$W_z$ (mm)
0	0	-90,54	0	156,65	0	0	0	-90,54	0	156,65	0	0
1	0	0	-0,479	96	56,88	0	0	0	-0,479	96	56,88	0
2	-12,58	0	-0,787	35,36	98,5	0	-12,58	0	-0,787	35,36	98,5	0
3	-46,455	0	-0,72	0	77,38	0	-46,455	0	-0,72	0	77,38	0
4	-94,715	0	-0,3575	0	4,92	0	-94,715	0	-0,3575	0	4,92	0
5	-125	-108,76	0	96,67	0	0	-125	-108,76	0	96,67	0	0
6	0	-12,85	-0,074	73,145	0	0	0	-12,85	-0,074	73,145	0	0
7	0	0	-0,227	28,725	40,655	0	0	0	-0,227	28,725	40,655	0
8	-22,15	0	-0,241	0	44,52	0	-22,15	0	-0,241	0	44,52	0
9	-68,96	-2,755	-0,101	0	0	0	-68,96	-2,755	-0,101	0	0	0
10	-94,54	-94,525	0	98,93	0	0	-94,54	-94,525	0	98,93	0	0
11	0	-0,92	-0,149	73,395	0	0	0	-0,92	-0,149	73,395	0	0
12	0	0	-0,329	25,915	50,815	0	0	0	-0,329	25,915	50,815	0
13	-25,91	0	-0,3295	0	50,815	0	-25,91	0	-0,3295	0	50,815	0
14	-73,36	-0,905	-0,149	0	0	0	-73,36	-0,905	-0,149	0	0	0
15	-98,88	-94,46	0	94,51	0	0	-98,88	-94,46	0	94,51	0	0
16	0	-2,715	-0,1015	68,945	0	0	0	-2,715	-0,1015	68,945	0	0
17	0	0	-0,242	22,145	44,545	0	0	0	-0,242	22,145	44,545	0
18	-28,73	0	-0,228	0	40,675	0	-28,73	0	-0,228	0	40,675	0
19	-73,16	-12,83	-0,0745	0	0	0	-73,16	-12,83	-0,0745	0	0	0
20	-96,7	-108,74	0	124,97	0	0	-96,7	-108,74	0	124,97	0	0
21	0	0	-0,357	94,69	4,93	0	0	0	-0,357	94,69	4,93	0
22	0	0	-0,7195	46,44	77,37	0	0	0	-0,7195	46,44	77,37	0
23	-35,36	0	-0,787	12,57	98,48	0	-35,36	0	-0,787	12,57	98,48	0
24	-96,01	0	-0,479	0	56,855	0	-96,01	0	-0,479	0	56,855	0
25	-156,66	-90,58	0	0	0	0	-156,66	-90,58	0	0	0	0

Posição global (m)	Bragança_Terreno do tipo A (resultados negativos)			Bragança_Terreno do tipo A (resultados positivos)			Bragança_Terreno do tipo D (resultados negativos)			Bragança_Terreno do tipo D (resultados positivos)		
	Esforço transversal	Esforço de momentos	Flechas	Esforço transversal	Esforço de momentos	Flechas	Esforço transversal	Esforço de momentos	Flechas	Esforço transversal	Esforço de momentos	Flechas
	Q <sub>x</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	W <sub>z</sub> (mm)	Q <sub>x</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	W <sub>z</sub> (mm)	Q <sub>x</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	W <sub>z</sub> (mm)	Q <sub>x</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	W <sub>z</sub> (mm)
0	0	-109,82	0	156,65	0	0	0	-181,91	0	156,65	64,58	0
1	0	0	-0,479	96,2	61,105	0	-5,5	-33,91	-0,479	109,115	99,38	0
2	-20,28	0	-0,787	24,575	98,5	0	-28,79	0	-0,787	46,495	98,5	0
3	-48,24	0	-0,72	0	77,38	0	-63,56	0	-0,72	17,9	77,38	0
4	-94,715	-14,735	-0,3575	0	21,94	0	-100,1	-40,055	-0,421	0	46,74	0
5	-125	-108,76	0	96,67	0	0	-125,16	-151,26	0	99,55	12,205	0
6	0	-24,105	-0,197	73,145	9,65	0,093	0	-47,605	-0,3945	79,385	32,655	0,301
7	-6,01	0	-0,227	32,855	40,655	0	-21,12	0	-0,298	45,295	40,655	0,0115
8	-27,64	0	-0,241	10,2	44,52	0	-41,555	0	-0,344	13,235	44,52	0,0395
9	-68,96	-19,28	-0,2245	0	15,855	0,09	-77,35	-43,445	-0,438	0	39,935	0,31
10	-94,54	-94,9	0	98,93	0	0	-98,6	-141,12	0	102,43	17,785	0
11	0	-18,595	-0,253	73,395	17,025	0,065	0	-43,105	-0,472	80,99	41,445	0,285
12	-8,44	0	-0,329	31,115	50,815	0	-24,07	0	-0,39	44,815	50,815	0
13	-31,085	0	-0,3295	8,49	50,815	0	-44,58	0	-0,391	24,19	50,815	0
14	-73,36	-18,6	-0,254	0	17,02	0,065	-80,42	-43,13	-0,473	0	41,425	0,284
15	-98,88	-94,825	0	94,51	0	0	-101,63	-141,07	0	99,65	17,835	0
16	0	-19,28	-0,224	68,945	15,865	0,09	0	-43,47	-0,437	78,195	39,91	0,311
17	-10,1	0	-0,242	27,69	44,545	0	-12,795	0	-0,3435	41,995	44,545	0,0395
18	-32,805	0	-0,228	6,12	40,675	0	-45,05	0	-0,298	21,37	40,675	0,011
19	-73,16	-24,055	-0,197	0	9,71	0,0925	-78,85	-47,51	-0,395	0	32,75	0,3
20	-96,7	-108,74	0	124,97	0	0	-98,71	-151,36	0	125,42	12,11	0
21	0	-14,775	-0,357	94,69	21,91	0	0	-40,145	-0,422	100,505	46,645	0
22	0	0	-0,7195	48,365	77,37	0	-17,25	0	-0,7195	64,16	77,37	0
23	-24,31	0	-0,787	20,54	98,48	0	-45,83	0	-0,787	29,45	98,48	0
24	-96,065	0	-0,479	0	61,025	0	-107,595	-34,065	-0,479	6,18	99,22	0
25	-156,66	-109,97	0	0	0	0	-156,66	-182,22	0	0	64,27	0

Posição global (m)	Coimbra_Terreno do tipo A (resultados negativos)			Coimbra_Terreno do tipo A (resultados positivos)			Coimbra_Terreno do tipo D (resultados negativos)			Coimbra_Terreno do tipo D (resultados positivos)		
	Esforço transversal	Esforço de momentos	Flechas	Esforço transversal	Esforço de momentos	Flechas	Esforço transversal	Esforço de momentos	Flechas	Esforço transversal	Esforço de momentos	Flechas
	Q <sub>x</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	W <sub>z</sub> (mm)	Q <sub>x</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	W <sub>z</sub> (mm)	Q <sub>x</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	W <sub>z</sub> (mm)	Q <sub>x</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	W <sub>z</sub> (mm)
0	0	-109,82	0	156,65	0	0	0	-181,91	0	156,65	64,58	0
1	0	0	-0,479	96,2	61,105	0	-5,5	-33,91	-0,479	109,115	99,38	0
2	-20,28	0	-0,787	24,575	98,5	0	-28,79	0	-0,787	46,495	98,5	0
3	-48,24	0	-0,72	0	77,38	0	-63,56	0	-0,72	17,9	77,38	0
4	-94,715	-14,735	-0,3575	0	21,94	0	-100,1	-40,055	-0,421	0	46,74	0
5	-125	-108,76	0	96,67	0	0	-125,16	-151,26	0	99,55	12,205	0
6	0	-24,105	-0,197	73,145	9,65	0,093	0	-47,605	-0,3945	79,385	32,655	0,301
7	-6,01	0	-0,227	32,855	40,655	0	-21,12	0	-0,298	45,295	40,655	0,0115
8	-27,64	0	-0,241	10,2	44,52	0	-41,555	0	-0,344	13,235	44,52	0,0395
9	-68,96	-19,28	-0,2245	0	15,855	0,09	-77,35	-43,445	-0,438	0	39,935	0,31
10	-94,54	-94,9	0	98,93	0	0	-98,6	-141,12	0	102,43	17,785	0
11	0	-18,595	-0,253	73,395	17,025	0,065	0	-43,105	-0,472	80,99	41,445	0,285
12	-8,44	0	-0,329	31,115	50,815	0	-24,07	0	-0,39	44,815	50,815	0
13	-31,085	0	-0,3295	8,49	50,815	0	-44,58	0	-0,391	24,19	50,815	0
14	-73,36	-18,6	-0,254	0	17,02	0,065	-80,42	-43,13	-0,473	0	41,425	0,284
15	-98,88	-94,825	0	94,51	0	0	-101,63	-141,07	0	99,65	17,835	0
16	0	-19,28	-0,224	68,945	15,865	0,09	0	-43,47	-0,437	78,195	39,91	0,311
17	-10,1	0	-0,242	27,69	44,545	0	-12,795	0	-0,3435	41,995	44,545	0,0395
18	-32,805	0	-0,228	6,12	40,675	0	-45,05	0	-0,298	21,37	40,675	0,011
19	-73,16	-24,055	-0,197	0	9,71	0,0925	-78,85	-47,51	-0,395	0	32,75	0,3
20	-96,7	-108,74	0	124,97	0	0	-98,71	-151,36	0	125,42	12,11	0
21	0	-14,775	-0,357	94,69	21,91	0	0	-40,145	-0,422	100,505	46,645	0
22	0	0	-0,7195	48,365	77,37	0	-17,25	0	-0,7195	64,16	77,37	0
23	-24,31	0	-0,787	20,54	98,48	0	-45,83	0	-0,787	29,45	98,48	0
24	-96,065	0	-0,479	0	61,025	0	-107,595	-34,065	-0,479	6,18	99,22	0
25	-156,66	-109,97	0	0	0	0	-156,66	-182,22	0	0	64,27	0

Posição global (m)	Santarém_Terreno do tipo A (resultados negativos)			Santarém_Terreno do tipo A (resultados positivos)			Santarém_Terreno do tipo D (resultados negativos)			Santarém_Terreno do tipo D (resultados positivos)		
	Esforço transverso	Esforço de momentos	Flechas	Esforço transverso	Esforço de momentos	Flechas	Esforço transverso	Esforço de momentos	Flechas	Esforço transverso	Esforço de momentos	Flechas
	Q <sub>x</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	W <sub>z</sub> (mm)	Q <sub>x</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	W <sub>z</sub> (mm)	Q <sub>x</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	W <sub>z</sub> (mm)	Q <sub>x</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	W <sub>z</sub> (mm)
0	0	-169,06	0	156,65	52,13	0	0	-271,02	0	196,37	151,53	0
1	-1,41	-27,025	-0,479	105,84	92,59	0	-22,255	-81,79	-0,5675	144,345	146,705	0
2	-24,97	0	-0,787	42,6	98,5	0	-55,47	0	-0,813	73,59	106,595	0
3	-59,965	0	-0,72	14,28	77,38	0	-88,71	0	-0,72	32,94	77,38	0
4	-96,135	-35,575	-0,3945	0	42,37	0	-128,69	-71,37	-0,562	9,15	77,415	0,087
5	-125	-142,74	0	96,67	3,75	0	-156,82	-209,88	0	125,47	70,355	0
6	0	-43,3	-0,356	75,995	28,435	0,2595	-7,025	-76,58	-0,637	102,335	61,01	0,556
7	-18,37	0	-0,28	42,43	40,655	0	-28,08	0	-0,399	64,71	47,72	0,131
8	-38,695	0	-0,302	22,71	44,52	0,016	-60,945	0	-0,4725	32,98	51,55	0,1845
9	-73,925	-39,08	-0,399	0	35,59	0,269	-100,545	-73,28	-0,701	12,37	69,66	0,581
10	-94,72	-132,755	0	98,93	9,5	0	-62,63	-198,2	0	66,455	74,205	0
11	0	-38,665	-0,432	77,45	37,03	0,245	-9,985	-73,35	-0,7415	105,15	71,59	0,556
12	-21,24	0	-0,371	41,86	50,815	0	-31,46	0	-0,5195	64,97	55,09	0,1075
13	-41,645	0	-0,3715	21,35	50,815	0	-64,58	0	-0,52	31,85	55,14	0,1065
14	-76,925	-38,695	-0,433	0	37	0,244	-104,185	-73,4	-0,743	10,95	71,54	0,554
15	-98,88	-132,705	0	95,67	9,555	0	-64,875	-198,15	0	64,215	74,255	0
16	0	-39,105	-0,3985	74,685	35,57	0,27	-10,92	-73,345	-0,7	101,995	69,6	0,582
17	-22,48	0	-0,324	39,085	44,545	0,0165	-32,225	0	-0,472	61,7	51,51	0,185
18	-42,215	0	-0,281	18,59	40,675	0	-64,295	0	-0,4	28,495	47,78	0,1305
19	-75,51	-43,2	-0,357	0	28,535	0,259	-101,415	-76,42	-0,638	7,94	61,165	0,554
20	-96,7	-142,835	0	124,97	3,66	0	-124,03	-210,055	0	157,27	70,18	0
21	0	-35,655	-0,395	96,37	42,285	0	-8,45	-71,53	-0,563	129,39	77,255	0,086
22	-13,71	0	-0,7195	60,495	77,37	0	-31,9	0	-0,7195	89,75	77,37	0
23	-42,02	0	-0,787	25,555	98,48	0	-72,45	0	-0,811	56,61	106,495	0
24	-105,55	-27,17	-0,479	2	92,445	0	-141,67	-82,04	-0,5645	24,93	146,455	0
25	-156,66	-169,37	0	0	51,82	0	-192,18	-271,53	0	2,86	151,02	0

Posição global (m)	Lisboa_Terreno do tipo A (resultados negativos)			Lisboa_Terreno do tipo A (resultados positivos)			Lisboa_Terreno do tipo D (resultados negativos)			Lisboa_Terreno do tipo D (resultados positivos)		
	Esforço transverso	Esforço de momentos	Flechas	Esforço transverso	Esforço de momentos	Flechas	Esforço transverso	Esforço de momentos	Flechas	Esforço transverso	Esforço de momentos	Flechas
	Q <sub>x</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	W <sub>z</sub> (mm)	Q <sub>x</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	W <sub>z</sub> (mm)	Q <sub>x</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	W <sub>z</sub> (mm)	Q <sub>x</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	W <sub>z</sub> (mm)
0	0	-259,27	0	190,9	140,11	0	-197,32	-831,32	0	425,77	669,79	0
1	-17,765	-75,49	-0,4935	139,7	140,485	0	-212,69	-414,16	-0,2475	360,015	465,495	0
2	-51,965	0	-0,787	70,03	104,085	0	-235,68	-114,83	-0,421	268,12	245,325	0
3	-85,41	0	-0,72	29,58	77,38	0	-271,055	-7,045	-0,6895	214,945	115,69	0,178
4	-124,92	-67,265	-0,539	5,38	73,405	0,064	-316,845	-302,64	-0,921	189,505	304,435	0,6375
5	-152,63	-202,11	0	122	62,63	0	-244,785	-612,5	0	231,55	452,845	0
6	-3,99	-72,67	-0,602	99,26	57,185	0,518	-149,225	-297,2	-1,187	258,765	275,98	1,108
7	-25,5	0	-0,3835	62,105	46,545	0,112	-170,9	-62,82	-0,5925	214,58	122,885	0,4235
8	-58,345	0	-0,455	30,335	50,32	0,1635	-210,32	-64,195	-0,7785	177,91	130,13	0,6055
9	-97,435	-69,305	-0,666	9,18	65,695	0,544	-258,035	-296,565	-1,364	158,68	290,745	1,291
10	-121,32	-190,58	0	126,15	66,665	0	-218,46	-587,555	0	223,905	444,865	0
11	-6,8	-69,315	-0,705	101,925	67,565	0,519	-157,495	-299,94	-1,375	266,62	294,855	1,273
12	-28,785	0	-0,502	62,285	53,82	0,0895	-178,21	-60,595	-0,7735	218,235	133,91	0,5405
13	-61,905	0	-0,503	29,155	53,87	0,089	-217,235	-60,395	-0,7745	179,205	134,11	0,5395
14	-101,005	-69,365	-0,707	7,725	67,515	0,518	-264,65	-300,06	-1,378	159,46	294,735	1,27
15	-124,87	-190,53	0	123,05	66,715	0	-220,61	-587,48	0	221,755	444,94	0
16	-7,805	-69,36	-0,6645	98,81	65,645	0,545	-155,365	-296,845	-1,3615	261,355	290,46	1,294
17	-29,62	0	-0,454	59,055	50,285	0,164	-175,91	-64,355	-0,7775	212,325	129,97	0,6075
18	-61,71	0	-0,384	25,89	46,605	0,1115	-213,56	-62,615	-0,5935	171,925	123,095	0,4225
19	-98,38	-72,525	-0,604	4,86	57,335	0,517	-257,27	-296,635	-1,1895	150,715	276,545	1,106
20	-120,63	-202,27	0	153,1	62,465	0	-228,36	-612,685	0	247,975	452,67	0
21	-4,7	-67,415	-0,54	125,6	73,255	0,063	-184,76	-303,275	-0,923	321,59	303,8	0,636
22	-28,61	0	-0,7195	86,385	77,37	0	-209,385	-7,205	-0,6885	276,615	115,53	0,1785
23	-68,96	0	-0,787	53,035	103,985	0	-262,485	-115,2	-0,421	241,315	244,965	0
24	-137,185	-75,725	-0,4905	20,28	140,25	0	-352,26	-415,085	-0,2475	220,445	464,58	0
25	-186,96	-259,76	0	0	139,62	0	-415,83	-832,96	0	207,25	668,17	0

Posição global (m)	Lagos_Terreno do tipo A (resultados negativos)			Lagos_Terreno do tipo A (resultados positivos)			Lagos_Terreno do tipo D (resultados negativos)			Lagos_Terreno do tipo D (resultados positivos)		
	Esforço transversal	Esforço de momentos	Flechas	Esforço transversal	Esforço de momentos	Flechas	Esforço transversal	Esforço de momentos	Flechas	Esforço transversal	Esforço de momentos	Flechas
	Q <sub>x</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	W <sub>z</sub> (mm)	Q <sub>x</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	W <sub>z</sub> (mm)	Q <sub>x</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	W <sub>z</sub> (mm)	Q <sub>x</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	W <sub>z</sub> (mm)
0	-53,65	-394,02	0	253,58	271,61	0	-367,88	-1418,45	0	631,8	1217,3	0
1	-69,475	-147,895	-0,627	192,965	212,065	0,0555	-394,805	-797,08	-1,0575	571,27	839,985	0,9455
2	-92,315	-11,895	-0,9375	111,005	132,94	0	-433,305	-278,245	-0,754	484,845	428,195	0,516
3	-123,46	0	-0,801	68,21	77,38	0	-477,055	-33,595	-0,5575	424,245	162,165	0,2935
4	-168,15	-114,63	-0,749	49,02	119,815	0,256	-519,6	-546,25	-0,564	385,565	546,715	0,399
5	-116,52	-290,715	0	100,34	150,515	0	-411,645	-1040,04	0	405,205	849,62	0
6	-38,145	-116,42	-0,967	133,935	100,005	0,901	-293,21	-541,45	-0,656	422,79	512,565	0,5805
7	-54,57	-8,085	-0,5355	91,44	59,53	0,2905	-327,995	-137,545	-0,272	381,215	207,725	0,1335
8	-87,635	-8,145	-0,649	60,165	64,46	0,3815	-375,045	-142,18	-0,5565	336,93	220,07	0,4305
9	-132,47	-114,385	-1,063	45,215	110,615	0,953	-420,585	-541,875	-0,9745	304,29	534,675	0,918
10	-99,21	-276,835	0	103,945	151,91	0	-368,68	-996,665	0	374,29	831,44	0
11	-42,79	-115,02	-1,113	138,43	113,115	0,928	-307,67	-551,215	-0,934	434,505	543,675	0,886
12	-59,035	-4,2	-0,6975	92,74	68,135	0,2885	-341,38	-138,535	-0,4985	388,825	224,735	0,39
13	-92,125	-4,115	-0,6985	59,655	68,215	0,2875	-387,65	-138,225	-0,4995	342,555	225,045	0,3895
14	-136,915	-115,105	-1,115	44,305	113,02	0,926	-432,75	-551,225	-0,935	309,42	543,655	0,885
15	-101,45	-276,785	0	101,705	151,96	0	-371,01	-996,56	0	371,965	831,545	0
16	-42,92	-114,49	-1,061	134,77	110,51	0,955	-300,385	-542,6	-0,973	424,495	533,955	0,919
17	-58,975	-8,21	-0,648	88,83	64,395	0,3825	-333,98	-142,44	-0,5565	377,995	219,81	0,4315
18	-90,78	-7,995	-0,5365	55,225	59,62	0,2895	-379,245	-137,205	-0,2725	329,97	208,06	0,1335
19	-132,465	-116,18	-0,969	39,61	100,25	0,899	-421,575	-540,53	-0,6555	294,43	513,495	0,5815
20	-98,795	-290,995	0	118,065	150,235	0	-398,365	-1040,225	0	418,49	849,45	0
21	-47,87	-114,88	-0,75	169,3	119,565	0,2545	-372,135	-547,295	-0,5655	533,035	545,67	0,398
22	-66,575	0	-0,8	125,085	77,37	0	-409,94	-33,83	-0,5565	491,37	161,925	0,2945
23	-109,225	-12,045	-0,934	94,1	132,79	0	-470,435	-278,885	-0,751	447,72	427,565	0,518
24	-188,77	-148,27	-0,6225	73,665	211,68	0,0595	-555,77	-798,64	-1,054	410,31	838,445	0,9495
25	-247,02	-394,81	0	60,21	270,83	0	-615,15	-1421,01	0	384,54	1214,75	0

### Resultados dos esforços no pilar 6...765:

Terreno do tipo A Posição global (m)	Esforço axial	Esforço transversal		Esforço de momentos		Deslocamentos	
	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	U <sub>x</sub> (mm)	U <sub>y</sub> (mm)
0	3179,350	3,670	3,640	3,960	4,010	0,000	0,000
1,65	3170,610	3,670	3,640	2,050	2,040		
3,3	2917,650	4,670	4,640	10,260	10,320	0,000	0,000
4,95	2664,700	5,660	5,630	0,980	0,980		
6,6	2424,890	4,330	4,310	8,300	8,350	0,010	0,000
8,25	2185,080	2,990	2,990	0,460	0,460		
9,9	1952,720	2,200	2,210	2,770	2,710	0,010	0,000
11,55	1720,360	1,400	1,430	0,400	0,410		
13,2	1493,880	0,860	0,820	1,930	1,940	0,010	0,000
14,85	1267,380	1,330	1,270	0,280	0,280		
16,5	1044,890	1,740	1,670	2,300	3,310	0,010	0,000
18,15	822,390	2,140	2,070	0,340	0,350		
19,8	604,090	2,220	2,120	3,650	3,860	0,020	0,000
21,45	385,790	2,290	2,170	0,410	0,430		
23,1	377,040	2,290	2,170	3,510	3,700	0,010	0,000

Terreno do tipo D Posição global (m)	Esforço axial	Esforço transversal		Esforço de momentos		Deslocamentos	
	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	U <sub>x</sub> (mm)	U <sub>y</sub> (mm)
0	3179,350	3,670	3,640	3,960	4,010	0,000	0,000
1,65	3170,610	3,670	3,640	2,050	2,040		
3,3	2917,650	4,670	4,640	10,260	10,320	0,000	0,000
4,95	2664,700	5,660	5,630	0,980	0,980		
6,6	2424,890	4,330	4,310	8,300	8,350	0,010	0,000
8,25	2185,080	2,990	2,990	0,460	0,460		
9,9	1952,720	2,200	2,210	2,770	2,710	0,010	0,000
11,55	1720,360	1,400	1,430	0,400	0,410		
13,2	1493,880	0,860	0,820	1,930	1,940	0,010	0,000
14,85	1267,380	1,330	1,270	0,280	0,280		
16,5	1044,890	1,740	1,670	2,300	3,310	0,010	0,000
18,15	822,390	2,140	2,070	0,340	0,350		
19,8	604,090	2,220	2,120	3,650	3,860	0,020	0,000
21,45	385,790	2,290	2,170	0,410	0,430		
23,1	377,040	2,290	2,170	3,510	3,700	0,010	0,000

Bragança_terreno do tipo A Posição global (m)	Esforço axial	Esforço transverso		Esforço de momentos		Deslocamentos	
	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	U <sub>x</sub> (mm)	U <sub>y</sub> (mm)
0	3179,350	27,670	27,620	46,640	46,790	0,000	0,000
1,65	3170,610	27,670	27,620	2,050	3,330		
3,3	2917,650	27,990	28,030	41,790	41,690	3,930	3,960
4,95	2664,700	28,300	28,430	0,990	0,980		
6,6	2424,890	25,900	26,100	39,010	41,280	8,390	8,450
8,25	2185,080	23,500	23,770	0,810	0,790		
9,9	1952,720	21,450	21,770	34,880	36,330	12,390	12,480
11,55	1720,360	20,580	19,770	0,750	0,740		
13,2	1493,880	19,530	17,780	30,130	31,300	15,800	15,910
14,85	1267,380	18,470	15,790	0,600	0,600		
16,5	1044,890	16,730	13,250	24,110	25,130	18,560	18,690
18,15	822,390	14,990	10,710	0,660	0,660		
19,8	604,090	12,050	7,670	16,070	16,210	20,570	20,710
21,45	385,790	9,110	4,620	0,460	0,620		
23,1	377,040	9,110	4,620	15,240	14,650	21,680	21,830

Bragança_terreno do tipo D Posição global (m)	Esforço axial	Esforço transverso		Esforço de momentos		Deslocamentos	
	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	U <sub>x</sub> (mm)	U <sub>y</sub> (mm)
0	3179,350	62,430	62,400	107,030	107,220	0,000	0,000
1,65	3170,610	62,430	62,400	4,230	6,430		
3,3	2917,650	63,090	63,270	98,520	98,170	9,270	9,330
4,95	2664,700	63,750	64,130	1,410	1,350		
6,6	2424,890	59,750	60,270	95,190	97,670	19,950	20,080
8,25	2185,080	55,740	56,410	1,430	1,390		
9,9	1952,720	51,790	52,060	84,760	86,400	29,750	29,950
11,55	1720,360	48,600	47,710	1,320	1,300		
13,2	1493,880	44,430	42,620	71,040	72,340	38,210	38,460
14,85	1267,380	40,260	37,520	1,110	1,110		
16,5	1044,890	35,240	31,680	54,570	55,720	45,000	45,280
18,15	822,390	30,210	25,840	1,260	1,260		
19,8	604,090	23,810	19,360	35,270	35,520	49,800	50,110
21,45	385,790	17,400	12,880	1,090	1,250		
23,1	377,040	17,400	12,880	29,480	28,030	52,400	52,720

Coimbra_terreno do tipo A Posição global (m)	Esforço axial	Esforço transverso		Esforço de momentos		Deslocamentos	
	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	U <sub>x</sub> (mm)	U <sub>y</sub> (mm)
0	3179,350	27,670	27,620	46,640	46,790	0,000	0,000
1,65	3170,610	27,670	27,620	2,050	3,330		
3,3	2917,650	27,990	28,030	41,790	41,690	3,930	3,960
4,95	2664,700	28,300	28,430	0,990	0,980		
6,6	2424,890	25,900	26,100	39,010	41,280	8,390	8,450
8,25	2185,080	23,500	23,770	0,810	0,790		
9,9	1952,720	21,450	21,770	34,880	36,330	12,390	12,480
11,55	1720,360	20,580	19,770	0,750	0,740		
13,2	1493,880	19,530	17,780	30,130	31,300	15,800	15,910
14,85	1267,380	18,470	15,790	0,600	0,600		
16,5	1044,890	16,730	13,250	24,110	25,130	18,560	18,690
18,15	822,390	14,990	10,710	0,660	0,660		
19,8	604,090	12,050	7,670	16,070	16,210	20,570	20,710
21,45	385,790	9,110	4,620	0,460	0,620		
23,1	377,040	9,110	4,620	15,240	14,650	21,680	21,830

Coimbra_terreno do tipo D Posição global (m)	Esforço axial	Esforço transverso		Esforço de momentos		Deslocamentos	
	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	U <sub>x</sub> (mm)	U <sub>y</sub> (mm)
0	3179,350	62,430	62,400	107,030	107,220	0,000	0,000
1,65	3170,610	62,430	62,400	4,230	6,430		
3,3	2917,650	63,090	63,270	98,520	98,170	9,270	9,330
4,95	2664,700	63,750	64,130	1,400	1,340		
6,6	2424,890	59,750	60,270	95,190	97,670	19,950	20,080
8,25	2185,080	55,740	56,410	1,410	1,380		
9,9	1952,720	51,790	52,060	84,760	86,400	29,750	29,950
11,55	1720,360	48,600	47,710	1,310	1,290		
13,2	1493,880	44,430	42,620	71,040	72,340	38,210	38,460
14,85	1267,380	40,260	37,520	1,110	1,110		
16,5	1044,890	35,030	31,470	54,230	55,380	45,000	45,280
18,15	822,390	29,790	25,420	1,260	1,260		
19,8	604,090	23,490	19,040	34,750	34,990	49,800	50,110
21,45	385,790	17,180	12,650	1,070	1,230		
23,1	377,040	17,180	12,650	29,100	27,670	52,400	52,720



Santarém_terreno do tipo A Posição global (m)	Esforço axial	Esforço transverso		Esforço de momentos		Deslocamentos	
	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	U <sub>x</sub> (mm)	U <sub>y</sub> (mm)
0	3179,350	56,610	56,520	96,770	97,040	0,000	0,000
1,65	3170,610	56,610	56,520	3,650	5,860		
3,3	2917,650	56,850	56,940	88,310	88,090	8,350	8,420
4,95	2664,700	57,080	57,360	1,340	1,280		
6,6	2424,890	53,050	53,480	84,050	86,530	17,830	17,960
8,25	2185,080	49,020	49,590	1,320	1,290		
9,9	1952,720	45,720	46,000	74,830	76,460	26,340	26,530
11,55	1720,360	43,300	42,400	1,250	1,230		
13,2	1493,880	40,530	38,690	64,590	65,930	33,590	33,820
14,85	1267,380	37,760	34,980	1,050	1,040		
16,5	1044,890	33,600	30,030	51,720	52,890	39,450	39,720
18,15	822,390	29,440	25,080	1,150	1,150		
19,8	604,090	23,110	18,670	34,160	34,390	43,710	44,010
21,45	385,790	16,780	12,260	1,060	1,220		
23,1	377,040	16,780	12,260	28,440	26,970	46,070	46,380

Santarém_terreno do tipo D Posição global (m)	Esforço axial	Esforço transverso		Esforço de momentos		Deslocamentos	
	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	U <sub>x</sub> (mm)	U <sub>y</sub> (mm)
0	3179,350	105,640	105,600	181,990	182,300	0,000	0,000
1,65	3170,610	105,640	105,600	8,020	10,260		
3,3	2917,650	106,490	106,800	168,570	168,420	15,890	16,000
4,95	2664,700	107,340	108,000	2,060	1,950		
6,6	2424,890	101,160	102,060	163,920	166,680	34,200	34,430
8,25	2185,080	94,970	96,110	2,380	2,310		
9,9	1952,720	88,940	89,070	145,770	147,640	51,010	51,340
11,55	1720,360	83,050	82,030	2,230	2,180		
13,2	1493,880	76,650	74,670	124,070	125,650	65,510	65,930
14,85	1267,380	70,240	67,300	1,790	1,760		
16,5	1044,890	62,590	58,860	99,120	100,540	77,140	77,630
18,15	822,390	54,930	50,420	2,000	1,990		
19,8	604,090	42,820	38,280	66,340	66,750	85,380	85,900
21,45	385,790	30,710	26,130	2,110	2,270		
23,1	377,040	30,710	26,130	52,360	49,460	89,840	90,380

Lisboa_terreno do tipo A Posição global (m)	Esforço axial	Esforço transverso		Esforço de momentos		Deslocamentos	
	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	U <sub>x</sub> (mm)	U <sub>y</sub> (mm)
0	3179,350	100,210	100,140	172,480	172,810	0,000	0,000
1,65	3170,610	100,210	100,140	7,510	9,740		
3,3	2917,650	100,770	101,040	159,290	159,120	15,050	15,150
4,95	2664,700	101,330	101,940	1,640	1,530		
6,6	2424,890	95,220	96,060	154,080	156,800	32,280	32,500
8,25	2185,080	89,100	90,170	1,750	1,680		
9,9	1952,720	83,580	83,720	137,000	138,840	47,980	48,300
11,55	1720,360	78,290	77,270	1,780	1,750		
13,2	1493,880	71,850	69,910	116,020	117,520	61,470	61,860
14,85	1267,380	65,400	62,540	1,690	1,680		
16,5	1044,890	56,920	53,290	90,030	91,310	72,320	72,780
18,15	822,390	48,440	44,030	1,900	1,900		
19,8	604,090	37,350	32,880	57,580	57,860	80,070	80,570
21,45	385,790	26,260	21,730	1,850	2,010		
23,1	377,040	26,260	21,730	44,860	41,990	84,300	84,810

Lisboa_terreno do tipo D Posição global (m)	Esforço axial	Esforço transverso		Esforço de momentos		Deslocamentos	
	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	U <sub>x</sub> (mm)	U <sub>y</sub> (mm)
0	3407,710	373,850	374,150	660,040	660,820	0,000	0,000
1,65	3394,050	373,850	374,150	43,920	46,610		
3,3	3123,120	377,570	379,540	601,920	603,680	24,570	24,720
4,95	2852,190	381,310	384,930	4,930	4,320		
6,6	2595,700	365,270	366,090	597,810	603,220	54,270	54,590
8,25	2339,200	349,230	347,240	5,500	5,130		
9,9	2090,810	326,350	322,660	532,560	536,420	81,890	82,380
11,55	1842,410	303,460	298,070	6,850	6,690		
13,2	1600,390	274,000	267,290	444,090	447,170	105,940	106,550
14,85	1358,360	244,530	236,510	7,970	7,950		
16,5	1120,570	208,640	199,460	334,610	337,150	125,320	126,030
18,15	882,770	172,740	162,400	9,210	9,190		
19,8	650,010	131,620	121,330	207,950	208,390	139,120	139,890
21,45	417,250	90,500	80,260	9,500	9,610		
23,1	403,590	90,500	80,260	158,330	142,870	146,800	147,600

Lagos_terreno do tipo A Posição global (m)	Esforço axial	Esforço transverso		Esforço de momentos		Deslocamentos	
	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	U <sub>x</sub> (mm)	U <sub>y</sub> (mm)
0	3179,350	165,720	165,620	286,080	286,610	0,000	0,000
1,65	3170,610	165,720	165,620	13,240	15,500		
3,3	2917,650	166,400	166,860	265,180	265,500	25,080	25,260
4,95	2664,700	167,070	168,100	2,290	2,100		
6,6	2424,890	157,510	158,920	257,490	260,640	53,810	54,170
8,25	2185,080	148,650	149,730	2,690	2,570		
9,9	1952,720	139,440	139,370	228,750	230,950	79,970	80,500
11,55	1720,360	130,230	129,010	2,770	2,710		
13,2	1493,880	119,170	117,040	193,700	195,520	102,460	103,110
14,85	1267,380	108,110	105,070	2,680	2,660		
16,5	1044,890	93,710	89,920	150,350	151,890	120,540	121,290
18,15	822,390	79,310	74,760	3,010	3,010		
19,8	604,090	60,780	56,220	95,970	96,410	133,460	134,280
21,45	385,790	42,240	37,670	3,130	3,300		
23,1	377,040	42,240	37,670	72,420	67,510	140,510	141,350

Lagos_terreno do tipo D Posição global (m)	Esforço axial	Esforço transverso		Esforço de momentos		Deslocamentos	
	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	U <sub>x</sub> (mm)	U <sub>y</sub> (mm)
0	3795,110	613,830	613,850	1077,020	1078,790	0,000	0,000
1,65	3775,440	613,830	613,850	66,640	68,460		
3,3	3470,060	622,170	621,140	993,360	997,660	19,160	19,260
4,95	3164,670	630,510	628,430	8,800	7,350		
6,6	2878,170	604,530	598,070	983,820	991,980	42,040	42,260
8,25	2591,670	578,550	567,700	7,470	6,630		
9,9	2316,040	541,280	527,550	877,180	883,230	63,450	63,770
11,55	2040,400	504,010	487,390	9,300	8,930		
13,2	1772,860	455,830	437,000	732,640	737,460	82,220	82,630
14,85	1505,310	407,650	386,610	11,080	11,010		
16,5	1243,160	348,900	325,990	553,510	557,420	97,500	97,980
18,15	981,010	290,140	265,370	13,010	12,960		
19,8	724,830	222,780	197,830	345,690	346,360	108,570	109,080
21,45	468,640	155,410	130,280	14,110	13,470		
23,1	448,970	155,410	130,280	269,700	237,460	114,970	115,510

*Resultados dos esforços no pilar 19...870 :*

Terreno do tipo A Posição global (m)	Esforço axial	Esforço transverso		Esforço de momentos		Deslocamentos	
	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	U <sub>X</sub> (mm)	U <sub>Y</sub> (mm)
0	2866,180	4,120	4,000	4,380	4,520	0,000	0,000
1,65	2857,440	4,120	4,000	2,220	2,270		
3,3	2667,060	6,510	6,280	13,830	14,340	0,000	0,000
4,95	2476,660	8,900	8,560	0,290	0,340		
6,6	2281,460	9,470	9,040	15,450	16,280	0,000	0,000
8,25	2086,260	10,040	9,510	0,240	0,280		
9,9	1888,480	10,450	9,860	16,710	17,760	0,010	0,000
11,55	1690,690	10,860	10,210	0,140	0,170		
13,2	1491,160	11,080	10,390	17,390	18,580	0,010	0,000
14,85	1291,610	11,300	10,570	0,050	0,070		
16,5	1091,200	11,340	10,600	17,540	18,780	0,010	0,000
18,15	890,780	11,370	10,620	0,030	0,040		
19,8	689,770	11,670	10,880	18,110	19,430	0,010	0,010
21,45	488,770	11,970	11,130	0,250	0,320		
23,1	300,540	11,970	11,130	11,160	11,880	0,010	0,010
24,75	112,320	7,820	7,940	10,360	10,190		
26,4	103,570	7,820	7,940	23,460	23,100	0,040	0,060

Terreno do tipo D Posição global (m)	Esforço axial	Esforço transverso		Esforço de momentos		Deslocamentos	
	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	U <sub>X</sub> (mm)	U <sub>Y</sub> (mm)
0	2866,180	4,120	4,000	4,380	4,520	0,000	0,000
1,65	2857,440	4,120	4,000	2,220	2,270		
3,3	2667,060	6,510	6,280	13,830	14,340	0,000	0,000
4,95	2476,660	8,900	8,560	0,290	0,340		
6,6	2281,460	9,470	9,040	15,450	16,280	0,000	0,000
8,25	2086,260	10,040	9,510	0,240	0,280		
9,9	1888,480	10,450	9,860	16,710	17,760	0,010	0,000
11,55	1690,690	10,860	10,210	0,140	0,170		
13,2	1491,160	11,080	10,390	17,390	18,580	0,010	0,000
14,85	1291,610	11,300	10,570	0,050	0,070		
16,5	1091,200	11,340	10,600	17,540	18,780	0,010	0,000
18,15	890,780	11,370	10,620	0,030	0,040		
19,8	689,770	11,670	10,880	18,110	19,430	0,010	0,010
21,45	488,770	11,970	11,130	0,250	0,320		
23,1	300,540	11,970	11,130	11,160	11,880	0,010	0,010
24,75	112,320	7,820	7,940	10,360	10,190		
26,4	103,570	7,820	7,940	23,460	23,100	0,040	0,060

Bragança_terreno do tipo A Posição global (m)	Esforço axial	Esforço transverso		Esforço de momentos		Deslocamentos	
	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	U <sub>X</sub> (mm)	U <sub>Y</sub> (mm)
0	2866,180	27,720	27,640	46,770	46,860	0,000	0,000
1,65	2857,440	27,720	27,640	2,220	3,820		
3,3	2667,060	29,020	28,860	41,700	41,770	3,950	3,950
4,95	2476,660	30,310	30,070	0,290	0,530		
6,6	2281,460	29,480	29,180	39,600	39,650	8,430	8,430
8,25	2086,260	28,650	28,280	0,400	0,690		
9,9	1888,480	27,630	27,210	35,590	35,630	12,450	12,450
11,55	1690,690	26,610	26,140	0,460	0,620		
13,2	1491,160	25,320	24,820	31,060	31,070	15,880	15,870
14,85	1291,610	24,020	23,490	0,460	0,500		
16,5	1091,200	21,980	21,440	25,220	25,210	18,650	18,640
18,15	890,780	19,930	19,390	0,560	0,570		
19,8	689,770	17,140	16,560	17,490	17,250	20,660	20,650
21,45	488,770	14,350	13,730	0,410	0,720		
23,1	300,540	14,350	13,730	11,160	15,850	21,770	21,760
24,75	112,320	8,690	7,940	10,360	10,190		
26,4	103,570	8,690	7,940	23,460	23,100	22,120	22,180

Bragança_terreno do tipo D Posição global (m)	Esforço axial	Esforço transverso		Esforço de momentos		Deslocamentos	
	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	U <sub>X</sub> (mm)	U <sub>Y</sub> (mm)
0	2866,180	61,920	61,860	106,630	106,690	0,000	0,000
1,65	2857,440	61,920	61,860	4,640	7,220		
3,3	2667,060	63,500	63,350	96,880	96,940	9,310	9,310
4,95	2476,660	65,070	64,840	0,630	0,980		
6,6	2281,460	63,000	62,700	94,750	94,800	20,040	20,030
8,25	2086,260	60,920	60,560	1,110	1,390		
9,9	1888,480	57,760	57,350	85,240	85,260	29,880	29,870
11,55	1690,690	54,600	54,140	1,130	1,280		
13,2	1491,160	50,410	49,920	72,400	72,410	38,370	38,360
14,85	1291,610	46,210	45,690	1,090	1,120		
16,5	1091,200	40,900	40,380	56,510	56,490	45,180	45,170
18,15	890,780	35,590	35,060	1,280	1,290		
19,8	689,770	29,390	28,820	37,410	37,430	50,000	49,990
21,45	488,770	23,190	22,580	1,070	1,360		
23,1	300,540	23,190	22,580	11,160	25,710	52,600	52,590
24,75	112,320	11,640	7,940	10,360	10,190		
26,4	103,570	11,640	7,940	26,760	26,480	53,410	53,470

Coimbra_ terreno do tipo A Posição global (m)	Esforço axial	Esforço transverso		Esforço de momentos		Deslocamentos	
	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	U <sub>X</sub> (mm)	U <sub>Y</sub> (mm)
0	2866,180	27,720	27,640	46,770	46,860	0,000	0,000
1,65	2857,440	27,720	27,640	2,220	3,820		
3,3	2667,060	29,020	28,860	41,700	41,770	3,950	3,950
4,95	2476,660	30,310	30,070	0,290	0,530		
6,6	2281,460	29,480	29,180	39,600	39,650	8,430	8,430
8,25	2086,260	28,650	28,280	0,400	0,690		
9,9	1888,480	27,630	27,210	35,590	35,630	12,450	12,450
11,55	1690,690	26,610	26,140	0,460	0,620		
13,2	1491,160	25,320	24,820	31,060	31,070	15,880	15,870
14,85	1291,610	24,020	23,490	0,460	0,500		
16,5	1091,200	21,980	21,440	25,220	25,210	18,650	18,640
18,15	890,780	19,930	19,390	0,560	0,570		
19,8	689,770	17,140	16,560	17,490	17,250	20,660	20,650
21,45	488,770	14,350	13,730	0,410	0,720		
23,1	300,540	14,350	13,730	11,160	15,850	21,770	21,760
24,75	112,320	8,690	7,940	10,360	10,190		
26,4	103,570	8,690	7,940	23,460	23,100	22,120	22,180

Coimbra_ terreno do tipo D Posição global (m)	Esforço axial	Esforço transverso		Esforço de momentos		Deslocamentos	
	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	U <sub>X</sub> (mm)	U <sub>Y</sub> (mm)
0	2866,180	61,920	61,860	106,630	106,690	0,000	0,000
1,65	2857,440	61,920	61,860	4,640	7,220		
3,3	2667,060	63,500	63,350	96,880	96,940	9,310	9,310
4,95	2476,660	65,070	64,840	0,620	0,970		
6,6	2281,460	63,000	62,700	94,750	94,800	20,040	20,030
8,25	2086,260	60,920	60,560	1,090	1,370		
9,9	1888,480	57,760	57,350	85,240	85,260	29,880	29,870
11,55	1690,690	54,600	54,140	1,110	1,260		
13,2	1491,160	50,410	49,920	72,400	72,410	38,370	38,360
14,85	1291,610	46,210	45,690	1,090	1,120		
16,5	1091,200	40,800	40,270	56,240	56,230	45,180	45,170
18,15	890,780	35,380	34,840	1,280	1,290		
19,8	689,770	29,170	28,590	37,130	37,140	50,000	49,990
21,45	488,770	22,950	22,340	1,070	1,360		
23,1	300,540	22,950	22,340	11,160	25,430	52,600	52,590
24,75	112,320	11,560	7,940	10,360	10,190		
26,4	103,570	11,560	7,940	26,620	26,340	53,410	53,470

Santarém_ terreno do tipo A Posição global (m)	Esforço axial	Esforço transverso		Esforço de momentos		Deslocamentos	
	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	U <sub>X</sub> (mm)	U <sub>Y</sub> (mm)
0	2866,180	56,150	56,090	96,490	96,560	0,000	0,000
1,65	2857,440	56,150	56,090	4,020	6,610		
3,3	2667,060	57,300	57,160	86,940	86,990	8,400	8,400
4,95	2476,660	58,450	58,230	0,540	0,900		
6,6	2281,460	56,320	56,030	83,810	83,850	17,920	17,920
8,25	2086,260	54,180	53,820	1,000	1,280		
9,9	1888,480	51,750	51,340	75,410	75,420	26,460	26,460
11,55	1690,690	49,310	48,860	1,060	1,210		
13,2	1491,160	46,440	45,950	65,890	65,890	33,740	33,730
14,85	1291,610	43,560	43,040	0,990	1,020		
16,5	1091,200	39,230	38,700	53,610	53,590	39,630	39,620
18,15	890,780	34,890	34,360	1,160	1,160		
19,8	689,770	28,790	28,210	36,430	36,440	43,900	43,890
21,45	488,770	22,680	22,060	1,020	1,320		
23,1	300,540	22,680	22,060	11,160	25,050	46,270	46,260
24,75	112,320	11,370	7,940	10,360	10,190		
26,4	103,570	11,370	7,940	26,290	26,020	47,020	47,080

Santarém_ terreno do tipo D Posição global (m)	Esforço axial	Esforço transverso		Esforço de momentos		Deslocamentos	
	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	U <sub>X</sub> (mm)	U <sub>Y</sub> (mm)
0	2866,180	104,410	104,360	180,940	180,990	0,000	0,000
1,65	2857,440	104,410	104,360	8,900	11,410		
3,3	2667,060	106,090	105,960	165,010	165,050	15,970	15,970
4,95	2476,660	107,760	107,550	1,330	1,670		
6,6	2281,460	103,970	103,690	162,230	162,240	34,350	34,340
8,25	2086,260	100,180	99,830	2,200	2,460		
9,9	1888,480	94,590	94,200	145,980	145,970	51,220	51,210
11,55	1690,690	89,000	88,560	2,180	2,320		
13,2	1491,160	82,690	82,220	125,890	125,870	65,780	65,760
14,85	1291,610	76,380	75,880	1,880	1,900		
16,5	1091,200	68,740	68,230	102,140	102,090	77,450	77,440
18,15	890,780	61,090	60,570	2,180	2,180		
19,8	689,770	49,300	48,730	70,230	70,230	85,710	85,700
21,45	488,770	37,500	36,890	2,070	2,360		
23,1	300,540	20,620	20,280	27,010	41,590	90,180	90,160
24,75	112,320	16,330	7,940	10,360	10,190		
26,4	103,570	16,330	7,940	34,990	34,700	91,580	91,630

Lisboa_ terreno do tipo A Posição global (m)	Esforço axial	Esforço transverso		Esforço de momentos		Deslocamentos	
	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	U <sub>X</sub> (mm)	U <sub>Y</sub> (mm)
0	2866,180	99,040	98,990	171,530	171,570	0,000	0,000
1,65	2857,440	99,040	98,990	8,330	10,860		
3,3	2667,060	100,440	100,310	155,950	155,990	15,120	15,120
4,95	2476,660	101,830	101,620	0,810	1,160		
6,6	2281,460	98,070	97,790	152,530	152,550	32,430	32,420
8,25	2086,260	94,300	93,950	1,560	1,830		
9,9	1888,480	89,280	88,880	137,250	137,250	48,180	48,170
11,55	1690,690	84,250	83,800	1,740	1,880		
13,2	1491,160	77,960	77,490	117,850	117,830	61,720	61,710
14,85	1291,610	71,670	71,170	1,790	1,810		
16,5	1091,200	63,270	62,750	93,240	93,200	72,610	72,600
18,15	890,780	54,860	54,330	2,060	2,060		
19,8	689,770	44,150	43,580	61,820	61,820	80,380	80,370
21,45	488,770	33,440	32,830	1,860	2,150		
23,1	300,540	17,670	17,330	22,090	36,690	84,620	84,610
24,75	112,320	14,510	7,940	10,360	10,190		
26,4	103,570	14,510	7,940	31,860	31,580	85,960	86,020

Lisboa_ terreno do tipo D Posição global (m)	Esforço axial	Esforço transverso		Esforço de momentos		Deslocamentos	
	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	U <sub>X</sub> (mm)	U <sub>Y</sub> (mm)
0	3211,810	369,750	369,760	656,420	656,350	0,000	0,000
1,65	3198,150	369,750	369,760	46,760	49,540		
3,3	2983,320	375,240	375,150	589,380	589,270	24,680	24,680
4,95	2768,490	380,720	380,530	2,660	2,890		
6,6	2549,370	367,230	366,950	593,260	593,110	54,480	54,470
8,25	2330,250	353,730	353,360	6,020	6,220		
9,9	2109,250	332,620	332,180	536,760	536,600	82,220	82,190
11,55	1888,240	311,510	311,000	7,690	7,720		
13,2	1666,110	283,560	283,000	455,400	455,260	106,350	106,320
14,85	1443,970	255,600	255,000	8,930	8,910		
16,5	1221,610	220,930	220,310	352,110	351,980	125,790	125,760
18,15	999,250	186,260	185,620	10,230	10,230		
19,8	776,710	146,670	145,950	230,620	230,600	139,630	139,600
21,45	554,160	107,080	106,270	9,440	10,100		
23,1	344,790	65,200	63,390	100,410	118,670	147,330	147,300
24,75	135,410	39,140	20,500	13,250	13,070		
26,4	121,750	39,140	20,500	78,070	77,670	149,960	149,970

Lagos_terreno do tipo A Posição global (m)	Esforço axial	Esforço transverso		Esforço de momentos		Deslocamentos	
	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	U <sub>X</sub> (mm)	U <sub>Y</sub> (mm)
0	2866,180	163,430	163,410	284,160	284,160	0,000	0,000
1,65	2857,440	163,430	163,410	14,760	17,190		
3,3	2667,060	164,810	164,710	258,940	258,930	25,200	25,200
4,95	2476,660	166,190	166,000	1,450	1,800		
6,6	2281,460	159,690	159,430	254,030	254,000	54,040	54,030
8,25	2086,260	153,190	152,860	2,680	2,940		
9,9	1888,480	144,660	144,280	228,620	228,580	80,310	80,290
11,55	1690,690	136,130	135,700	2,950	3,070		
13,2	1491,160	125,580	125,120	196,360	196,310	102,870	102,850
14,85	1291,610	115,020	114,530	2,990	2,990		
16,5	1091,200	101,020	100,520	155,410	155,350	121,020	121,000
18,15	890,780	87,010	86,500	3,410	3,410		
19,8	689,770	69,060	68,500	102,930	102,920	133,980	133,950
21,45	488,770	51,100	50,500	3,190	3,460		
23,1	300,540	29,240	28,910	41,580	56,040	141,040	141,010
24,75	112,320	19,970	7,940	10,360	10,190		
26,4	103,570	19,970	7,940	41,490	41,200	143,290	143,330

Lagos_terreno do tipo D Posição global (m)	Esforço axial	Esforço transverso		Esforço de momentos		Deslocamentos	
	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	U <sub>X</sub> (mm)	U <sub>Y</sub> (mm)
0	3764,500	610,090	610,140	1074,900	1074,730	0,000	0,000
1,65	3744,830	610,090	610,140	68,560	71,200		
3,3	3492,200	619,290	619,210	981,730	981,520	19,250	19,240
4,95	3239,570	628,490	628,280	3,610	3,720		
6,6	2982,550	607,580	607,260	989,810	989,540	42,200	42,190
8,25	2725,530	586,670	586,230	8,370	8,360		
9,9	2467,130	552,430	551,910	900,290	900,020	63,680	63,660
11,55	2208,720	518,190	517,580	10,730	10,690		
13,2	1949,990	472,260	471,590	768,300	768,060	82,510	82,480
14,85	1691,260	426,330	425,590	12,550	12,530		
16,5	1433,320	369,130	368,350	598,930	598,730	97,830	97,800
18,15	1175,380	311,920	311,110	14,470	14,470		
19,8	918,250	246,770	245,860	399,070	399,040	108,920	108,900
21,45	661,110	181,610	180,610	14,090	14,470		
23,1	417,010	118,040	111,400	184,740	203,290	115,350	115,320
24,75	176,010	65,980	42,190	15,270	15,070		
26,4	161,440	65,980	42,190	124,310	123,900	117,640	117,630

### Resultados dos esforços nas sapatas em estudo :

Estrutura	Dimensões de cálculo da sapata			Peso da fundação + Peso do solo (kN)	Forças actuantes					Forças de cálculo				
	B	A	Área		N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kN*m)	M <sub>z</sub> (kN*m)	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kN*m)	M <sub>z</sub> (kN*m)
Tensões de cálculo (ULS)I														
Terreno do tipo A	2,6	2,6	6,76	156,7	3180,86	-3,66	-3,67	4,01	-4,02	3377,56	-3,66	-3,67	6,58	-6,58
Terreno do tipo D	3,2	3,2	10,24	237,37	3180,86	-3,66	-3,67	4,01	-4,02	3418,23	-3,66	-3,67	6,58	-6,58
Bragança_terreno do tipo A	2,596	2,596	6,74	156,7	3180,86	-3,66	-3,67	4,01	-4,02	3377,56	-3,66	-3,67	6,58	-6,58
Bragança_terreno do tipo D	3,196	3,196	10,2144	237,37	3180,86	-3,66	-3,67	4,01	-4,02	3418,23	-3,66	-3,67	6,58	-6,58
Coimbra_terreno do tipo A	2,6	2,6	6,76	156,7	3180,86	-3,66	-3,67	4,01	-4,02	3377,56	-3,66	-3,67	6,58	-6,58
Coimbra_terreno do tipo D	3,2	3,2	10,24	237,37	3180,86	-3,66	-3,67	4,01	-4,02	3418,23	-3,66	-3,67	6,58	-6,58
Santarém_terreno do tipo A	2,6	2,6	6,76	156,7	3180,86	-3,66	-3,67	4,01	-4,02	3377,56	-3,66	-3,67	6,58	-6,58
Santarém_terreno do tipo D	3,2	3,1	9,92	229,95	3180,86	-3,66	-3,67	4,01	-4,02	3410,81	-3,66	-3,67	6,58	-6,58
Lisboa_terreno do tipo A	2,5	2,7	6,75	156,47	3180,86	-3,66	-3,67	4,01	-4,02	3377,33	-3,66	-3,67	6,58	-6,58
Lisboa_terreno do tipo D	3,44	3,66	12,5904	544,02	3215,23	-317,65	-92,66	-182,82	-597,87	3759,25	-317,65	-92,66	-71,63	-496,77
Lagos_terreno do tipo A	2,35	2,56	6,016	201,47	2163,77	-149,54	-41,1	-81,85	-268,43	2365,24	-149,54	-41,1	-44,86	-294,82
Lagos_terreno do tipo D	3,49	3,52	12,2848	429,18	2798,85	-617,07	-194,13	-333,59	-1082,71	3228,02	-617,07	-194,13	-178,28	-1576,37

Estrutura Resistência (ULS)2	Dimensões de cálculo da sapata			Peso da fundação + Peso do solo (kN)	Forças actuantes					Forças de cálculo				
	B	A	Área		N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>x</sub> (kN*m)	M <sub>y</sub> (kN*m)	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>x</sub> (kN*m)	M <sub>y</sub> (kN*m)
Terreno do tipo A				116,08	2802,28	4,98	3,92	-4,31	5,45	2802,28	4,98	3,92	-4,31	5,45
Terreno do tipo D				175,83	2802,28	4,98	3,92	-4,31	5,45	2802,28	4,98	3,92	-4,31	5,45
Bragança_terreno do tipo A	2,6	2,6	6,76	116,08	1796,41	-27,74	-6,49	-14,6	-46,85	1796,41	-27,74	-6,49	-14,6	-46,85
Bragança_terreno do tipo D				175,83	1804,3	-61,81	-16,87	-32,68	-106,48	1804,3	-61,81	-16,87	-32,68	-106,48
Coimbra_terreno do tipo A				116,08	1796,41	-27,74	-6,49	-14,6	-46,85	1796,41	-27,74	-6,49	-14,6	-46,85
Coimbra_terreno do tipo D				175,83	1804,3	-61,81	-16,87	-32,68	-106,48	1804,3	-61,81	-16,87	-32,68	-106,48
Santarém_terreno do tipo A				116,08	1802,71	-56,04	-15,1	-29,59	-96,35	1802,71	-56,04	-15,1	-29,59	-96,35
Santarém_terreno do tipo D				170,34	1813,95	-104,11	-29,76	-55,11	-180,5	1813,95	-104,11	-29,76	-55,11	-180,5
Lisboa_terreno do tipo A				115,9	1812,54	-98,76	-28,13	-52,26	-171,11	1812,54	-98,76	-28,13	-52,26	-171,11
Lisboa_terreno do tipo D				402,98	618,11	-91,48	285,02	596,67	-173,75	618,11	-91,48	285,02	596,67	-173,75
Lagos_terreno do tipo A				149,24	976,19	-42,38	124,39	267,98	-77,13	976,19	-42,38	124,39	267,98	-77,13
Lagos_terreno do tipo D				317,91	2492,09	-608,34	-181,94	-323,35	-1072,01	2492,09	-608,34	-181,94	-323,35	-1072,01

Estrutura Resistência (ULS)3	Dimensões de cálculo da sapata			Peso da fundação + Peso do solo (kN)	Forças actuantes					Forças de cálculo				
	B	A	Área		N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>x</sub> (kN*m)	M <sub>y</sub> (kN*m)	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>x</sub> (kN*m)	M <sub>y</sub> (kN*m)
Terreno do tipo A	2,6	2,6	6,76	116,08	2707,95	-4,2	2,11	-2,31	-4,63	2824,03	-4,2	2,11	-3,78	-7,57
Terreno do tipo D	3,2	3,2	10,24	175,83	2707,95	-4,2	2,11	-2,31	-4,63	2883,79	-4,2	2,11	-3,78	-7,57
Bragança_terreno do tipo A	2,6	2,6	6,76	116,08	1796,41	-27,74	-6,49	-14,6	-46,85	1912,48	-27,74	-6,49	-10,06	-66,27
Bragança_terreno do tipo D	3,2	3,2	10,24	175,83	1804,3	-61,81	-16,87	-32,68	-106,48	1980,13	-61,81	-16,87	-20,87	-149,74
Coimbra_terreno do tipo A	2,6	2,6	6,76	116,08	1796,41	-27,74	-6,49	-14,6	-46,85	1912,55	-27,74	-6,49	-10,06	-66,27
Coimbra_terreno do tipo D	3,2	3,2	10,24	175,83	1804,3	-61,81	-16,87	-32,68	-106,48	1980,13	-61,81	-16,87	-20,87	-149,74
Santarém_terreno do tipo A	2,6	2,6	6,76	116,08	1802,71	-56,04	-15,1	-29,59	-96,35	1918,79	-56,04	-15,1	-19,01	-135,58
Santarém_terreno do tipo D	3,2	3,1	9,92	170,34	1803,08	-103,86	31,13	51,49	-180,24	1973,41	-103,86	31,13	29,7	-252,93
Lisboa_terreno do tipo A	2,5	2,7	6,75	115,9	1802,33	-98,52	29,56	48,71	-170,86	1918,24	-98,52	29,56	28,02	-239,82
Lisboa_terreno do tipo D	3,7	3,7	13,69	402,98	622,96	-88,38	317,05	563,07	-171,26	1025,93	-88,38	317,05	182,61	-183,87
Lagos_terreno do tipo A	2,6	2,6	6,76	149,24	978,4	-38,74	149,57	241,39	-73,53	1127,64	-38,74	149,57	106,77	-59,47
Lagos_terreno do tipo D	3,6	4,5	16,2	317,91	2372,43	-177,75	610,43	1071,12	-316,33	2690,33	-177,75	610,43	582,78	-458,53

Estrutura Resistência (ULS)4	Dimensões de cálculo da sapata			Peso da fundação + Peso do solo (kN)	Forças actuantes					Forças de cálculo				
	B	A	Área		N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>x</sub> (kN*m)	M <sub>y</sub> (kN*m)	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>x</sub> (kN*m)	M <sub>y</sub> (kN*m)
Terreno do tipo A				116,08	2866,18	4	-4,12	4,52	4,38	2982,26	4	-4,12	7,4	7,17
Terreno do tipo D				175,83	2866,18	4	-4,12	4,52	4,38	3402,01	4	-4,12	7,4	7,17
Bragança_terreno do tipo A				116,08	1796,48	-10,23	-24,02	-45,32	-16,14	1912,55	-10,23	-24,02	-28,51	23,3
Bragança_terreno do tipo D				175,83	1804,3	-20,58	-58,12	-105,01	-34,17	1980,3	-20,58	-58,12	-64,33	-48,57
Coimbra_terreno do tipo A				116,08	1796,48	-10,23	-24,02	-45,32	-16,14	1912,48	-10,23	-24,02	-28,51	-23,3
Coimbra_terreno do tipo D				175,83	1804,3	-20,58	-58,12	-105,01	-34,17	1980,3	-20,58	-58,12	-64,33	-48,57
Santarém_terreno do tipo A				116,08	1802,86	-18,82	-52,35	-94,87	-31,1	1918,93	-18,82	-52,35	-58,23	-44,27
Santarém_terreno do tipo D				170,34	1778	-32,59	102,52	176,23	-55,67	1948,33	-32,59	102,52	104,47	-78,48
Lisboa_terreno do tipo A				115,9	1812,81	-31,8	-95,11	-169,7	-53,7	1928,72	-31,8	-95,11	-103,13	-75,96
Lisboa_terreno do tipo D				402,98	618,11	-91,47	285,02	596,67	-173,75	1021,08	-91,47	285,02	264,54	-190,8
Lagos_terreno do tipo A				149,24	978,8	-38,2	124,93	268,97	-72,54	1128,04	-38,2	124,93	156,53	-57,98
Lagos_terreno do tipo D				317,91	2372,43	-177,75	610,43	1071,12	-316,33	2690,33	-177,75	610,43	582,78	-458,53

Estrutura Resistência (ULS)5	Dimensões de cálculo da sapata			Peso da fundação + Peso do solo (kN)	Forças actuantes					Forças de cálculo				
	B	A	Área		N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>x</sub> (kN*m)	M <sub>y</sub> (kN*m)	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>x</sub> (kN*m)	M <sub>y</sub> (kN*m)
Terreno do tipo A				116,08	2802,28	4,98	3,92	-4,31	5,45	2918,36	3,92	-4,31	-7,06	8,94
Terreno do tipo D				175,83	2802,28	4,98	3,92	-4,31	5,45	2978,11	3,92	-4,31	-7,06	8,94
Bragança_terreno do tipo A				116,08	1796,41	-27,74	-6,49	-14,6	-46,85	1912,48	-27,74	-6,49	-10,06	-66,27
Bragança_terreno do tipo D				175,83	1797,96	-61,66	18,65	29,51	-106,33	1973,79	-61,66	18,65	16,45	-149,49
Coimbra_terreno do tipo A				116,08	1796,41	-27,74	-6,49	-14,6	-46,85	1912,48	-27,74	-6,49	-10,06	-66,27
Coimbra_terreno do tipo D				175,83	1797,96	-61,66	18,65	29,51	-106,33	1973,79	-61,66	18,65	16,45	-149,49
Santarém_terreno do tipo A				116,08	1797,12	-55,92	16,96	26,52	-96,22	1913,19	-55,92	16,96	14,65	-135,36
Santarém_terreno do tipo D				170,34	1803,08	-103,86	31,13	51,49	-180,24	1973,41	-103,86	31,13	29,7	-252,93
Lisboa_terreno do tipo A				115,9	1802,33	-98,52	29,56	48,71	-170,86	1918,24	-98,52	29,56	28,02	-239,82
Lisboa_terreno do tipo D				402,98	2246,1	-308,07	102,02	150,94	-588,93	2649,08	-308,07	102,02	28,4	-621,7
Lagos_terreno do tipo A				149,24	1707,33	-140,65	52,02	60,44	-259,4	1856,57	-140,65	52,02	13,62	-300,61
Lagos_terreno do tipo D				317,91	2481,22	-607,7	181,59	318,4	-1071,36	2799,13	-607,7	181,59	173,13	-1557,52

Estrutura Serviço (SLS)1	Dimensões de cálculo da sapata			Peso da fundação + Peso do solo (kN)	Forças actuantes					Forças de cálculo				
	B	A	Área		N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>x</sub> (kN*m)	M <sub>y</sub> (kN*m)	N (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	Q <sub>z</sub> (kN)	M <sub>x</sub> (kN*m)	M <sub>y</sub> (kN*m)
Terreno do tipo A				116,08	2064,72	-1,94	-1,94	2,12	-2,12	2064,72	-1,94	-1,94	2,12	-2,12
Terreno do tipo D				175,83	2064,72	-1,94	-1,94	2,12	-2,12	2064,72	-1,94	-1,94	2,12	-2,12
Bragança_terreno do tipo A				116,08	2064,72	-1,94	-1,94	2,12	-2,12	2064,72	-1,94	-1,94	2,12	-2,12
Bragança_terreno do tipo D				175,83	2064,72	-1,94	-1,94	2,12	-2,12	2064,72	-1,94	-1,94	2,12	-2,12
Coimbra_terreno do tipo A				116,08	2064,72	-1,94	-1,94	2,12	-2,12	2064,72	-1,94	-1,94	2,12	-2,12
Coimbra_terreno do tipo D				175,83	2064,72	-1,94	-1,94	2,12	-2,12	2064,72	-1,94	-1,94	2,12	-2,12
Santarém_terreno do tipo A				116,08	2064,72	-1,94	-1,94	2,12	-2,12	2064,72	-1,94	-1,94	2,12	-2,12
Santarém_terreno do tipo D				170,34	2064,72	-1,94	-1,94	2,12	-2,12	2064,72	-1,94	-1,94	2,12	-2,12
Lisboa_terreno do tipo A				115,9	2064,72	-1,94	-1,94	2,12	-2,12	2064,72	-1,94	-1,94	2,12	-2,12
Lisboa_terreno do tipo D				402,98	1611,02	-15,76	1,66	-1,81	-17,48	1611,02	-15,76	1,66	-1,81	-17,48
Lagos_terreno do tipo A				149,24	1436,27	1,85	-12,4	13,68	2,01	1436,27	1,85	-12,4	13,68	2,01
Lagos_terreno do tipo D				317,91	2561,02	-0,48	1,45	-1,76	-0,59	2561,02	-0,48	1,45	-1,76	-0,59

Estrutura Serviço (SLS)2	Dimensões de cálculo da sapata			Peso da fundação + Peso do solo (kN)	Forças actuantes					Forças de cálculo				
	B	A	Área		N (kN)	Q <sub>x</sub> (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	M <sub>x</sub> (kN*m)	M <sub>y</sub> (kN*m)	N (kN)	Q <sub>x</sub> (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	M <sub>x</sub> (kN*m)	M <sub>y</sub> (kN*m)
Terreno do tipo A				116,08	1850,97	3,08	2,31	-2,53	3,37	1850,97	3,08	2,31	-2,53	3,37
Terreno do tipo D				175,83	1850,97	3,08	2,31	-2,53	3,37	1850,97	3,08	2,31	-2,53	3,37
Bragança_terreno do tipo A				116,08	1850,97	3,08	2,31	-2,53	3,37	1850,97	3,08	2,31	-2,53	3,37
Bragança_terreno do tipo D				175,83	1850,97	3,08	2,31	-2,53	3,37	1850,97	3,08	2,31	-2,53	3,37
Coimbra_terreno do tipo A				116,08	1850,97	-10,23	-24,02	-2,53	3,37	1850,97	-10,23	-24,02	-2,53	3,37
Coimbra_terreno do tipo D				175,83	1850,97	3,08	2,31	-2,53	3,37	1850,97	3,08	2,31	-2,53	3,37
Santarém_terreno do tipo A				116,08	1850,97	3,08	2,31	-2,53	3,37	1850,97	3,08	2,31	-2,53	3,37
Santarém_terreno do tipo D				170,34	1850,97	3,08	2,31	-2,53	3,37	1850,97	3,08	2,31	-2,53	3,37
Lisboa_terreno do tipo A				115,9	1850,97	3,08	2,31	-2,53	3,37	1850,97	3,08	2,31	-2,53	3,37
Lisboa_terreno do tipo D				402,98	1610,06	15,71	1,66	-1,79	17,39	1610,06	15,71	1,66	-1,79	17,39
Lagos_terreno do tipo A				149,24	1436,2	12,39	1,87	-2,04	13,67	1436,2	12,39	1,87	-2,04	13,67
Lagos_terreno do tipo D				317,91	2518,95	3,51	2,45	-2,65	3,8	2518,95	3,51	2,45	-2,65	3,8



Anexo IV: Resultados de quantidades

Resultados das quantidades dos materiais utilizados nas lajes :

Estruturas	Localização														Quantidades totais			
	1º Piso		2º Piso		3º Piso		4º Piso		5º Piso		6º Piso		Laje de cobertura acessível				Laje de cobertura dos acessos	
	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)
Terreno do tipo A	119,2	10764,08	119,2	10698,07	119,2	10031,79	119,2	7578,97	119,2	9932,54	119,2	9962,67	120	10083,09	5	88,74	840,2	69139,95
Terreno do tipo D	119,2	10764,08	119,2	10698,07	119,2	10031,79	119,2	7578,97	119,2	9932,54	119,2	9962,67	120	10083,09	5	88,74	840,2	69139,95
Bragança_terreno do tipo A	119,2	10909,31	119,2	10860,33	119,2	10256,37	119,2	10304,38	119,2	10308,31	119,2	10201,61	120	10096,75	5	88,74	840,2	73025,8
Bragança_terreno do tipo D	119,2	11201,9	119,2	11189,25	119,2	10456,59	119,2	10430,33	119,2	9859,02	119,2	10152,35	120	10176,32	5	88,74	840,2	73554,5
Coimbra_terreno do tipo A	119,2	10909,31	119,2	10860,33	119,2	10256,37	119,2	10304,38	119,2	10308,31	119,2	10201,61	120	10096,75	5	88,74	840,2	73025,8
Coimbra_terreno do tipo D	119,2	11201,9	119,2	11189,25	119,2	10456,59	119,2	10430,33	119,2	9859,02	119,2	10152,3	120	10168,7	5	88,74	840,2	73546,83
Santarém_terreno do tipo A	119,2	11169,1	119,2	11102,62	119,2	10444,91	119,2	10384,98	119,2	9852,75	119,2	10152,24	120	10159,51	5	88,74	840,2	73354,85
Santarém_terreno do tipo D	119,2	10832,34	119,2	10718,76	119,2	10619,51	119,2	10491,07	119,2	10014,26	119,2	10332,07	120	10400,12	5	88,74	840,2	73496,87
Lisboa_terreno do tipo A	119,2	10803,59	119,2	10693,89	119,2	10619,39	119,2	10476,8	119,2	10019	119,2	10284,41	120	10359,46	5	89,28	840,2	73345,82
Lisboa_terreno do tipo D	119,2	13806,46	119,2	14027,93	119,2	12652,77	119,2	12681,96	119,2	10760,65	119,2	11009,07	120	9952,34	5	93,96	840,2	84985,14
Lagos_terreno do tipo A	119,2	13349,27	119,2	12539,45	119,2	12364,44	119,2	11475,59	119,2	9284,16	119,2	10371,49	120	10417,45	5	92,66	840,2	79894,51
Lagos_terreno do tipo D	119,2	11973,95	119,2	12743,17	119,2	10538,14	119,2	10025,57	119,2	9399,05	119,2	11373,4	120	11501,5	5	82,35	840,2	77637,13

Resultados das quantidades dos materiais utilizados nas vigas :

Estruturas	Localização	Posição														Quantidades totais			
		1º Piso		2º Piso		3º Piso		4º Piso		5º Piso		6º Piso		Laje de cobertura acessível				Laje de cobertura dos acessos	
		Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)
Terreno do tipo A	Vigas com extremos exteriores	24,4	1076,17	24,4	1077,52	24,4	1077,09	24,4	997,21	24,4	1121,08	24,4	1037,03	24,4	1076,17			170,80	7462,27
	Vigas exteriores	14,8	516,24	14,8	516,24	14,8	516,24	14,8	516,24	14,8	516,24	14,8	516,24	14,8	521,72			103,60	3619,16
	Vigas interiores	24,4	930,09	24,4	906,91	24,4	941,22	24,4	946,57	24,4	946,57	24,4	946,84	24,4	904,57	5,2	158,28	176,00	6681,05
	Quantidades totais	63,60	2522,50	63,60	2500,67	63,60	2534,55	63,60	2460,02	63,60	2583,89	63,60	2500,11	63,60	2502,46	5,20	158,28	450,40	17762,48
Terreno do tipo D	Vigas com extremos exteriores	24,40	1076,17	24,40	1077,52	24,40	1077,09	24,40	997,21	24,40	1121,08	24,40	1037,03	24,40	1076,17			170,80	7462,27
	Vigas exteriores	14,80	516,24	14,80	516,24	14,80	516,24	14,80	516,24	14,80	516,24	14,80	516,24	14,80	521,72			103,60	3619,16
	Vigas interiores	24,40	930,09	24,40	906,91	24,40	941,22	24,40	946,57	24,40	946,57	24,40	946,84	24,40	904,57	5,20	158,28	176,00	6681,05
	Quantidades totais	63,60	2522,50	63,60	2500,67	63,60	2534,55	63,60	2460,02	63,60	2583,89	63,60	2500,11	63,60	2502,46	5,20	158,28	450,40	17762,48
Bragança_terreno do tipo A	Vigas com extremos exteriores	24,40	1071,18	24,40	1107,78	24,40	1111,18	24,40	1099,01	24,40	1128,96	24,40	1041,47	24,40	1054,91			170,80	7614,49
	Vigas exteriores	14,80	524,84	14,80	546,72	14,80	524,84	14,80	524,84	14,80	524,84	14,80	516,24	14,80	521,72			103,60	3684,04
	Vigas interiores	24,40	966,73	24,40	966,22	24,40	971,63	24,40	973,87	24,40	973,87	24,40	968,38	24,40	906,40	5,20	158,28	176,00	6885,38
	Quantidades totais	63,60	2562,75	63,60	2620,72	63,60	2607,65	63,60	2597,72	63,60	2627,67	63,60	2526,09	63,60	2483,03	5,20	158,28	450,40	18183,91
Bragança_terreno do tipo D	Vigas com extremos exteriores	24,40	1344,14	24,40	1372,73	24,40	1338,89	24,40	1283,98	24,40	1140,86	24,40	1050,76	24,40	1057,91			170,80	8589,27
	Vigas exteriores	14,80	714,97	14,80	705,64	14,80	649,38	14,80	601,35	14,80	546,72	14,80	546,72	14,80	521,72			103,60	4286,50
	Vigas interiores	24,40	1213,99	24,40	1219,73	24,40	1210,67	24,40	1137,93	24,40	989,79	24,40	978,04	24,40	915,09	5,20	162,88	176,00	7828,12
	Quantidades totais	63,60	3273,10	63,60	3298,10	63,60	3198,94	63,60	3023,26	63,60	2677,37	63,60	2575,52	63,60	2494,72	5,20	162,88	450,40	20703,89
Coimbra_terreno do tipo A	Vigas com extremos exteriores	24,40	1071,18	24,40	1107,78	24,40	1111,18	24,40	1099,01	24,40	1128,96	24,40	1041,47	24,40	1054,91			170,80	7614,49
	Vigas exteriores	14,80	524,84	14,80	546,72	14,80	524,84	14,80	524,84	14,80	524,84	14,80	516,24	14,80	521,72			103,60	3684,04
	Vigas interiores	24,40	966,22	24,40	966,22	24,40	971,63	24,40	973,87	24,40	973,87	24,40	968,38	24,40	906,40	5,20	158,28	176,00	6884,87
	Quantidades totais	63,60	2562,24	63,60	2620,72	63,60	2607,65	63,60	2597,72	63,60	2627,67	63,60	2526,09	63,60	2483,03	5,20	158,28	450,40	18183,40
Coimbra_terreno do tipo D	Vigas com extremos exteriores	24,40	1344,14	24,40	1372,73	24,40	1338,89	24,40	1283,98	24,40	1140,86	24,40	1050,76	24,40	1057,91			170,80	8589,26
	Vigas exteriores	14,80	714,97	14,80	705,64	14,80	649,38	14,80	601,35	14,80	546,72	14,80	546,72	14,80	521,72			103,60	4286,50
	Vigas interiores	24,40	1213,99	24,40	1219,73	24,40	1208,58	24,40	1137,93	24,40	989,79	24,40	978,09	24,40	915,09	5,20	162,88	176,00	7826,08
	Quantidades totais	63,60	3273,10	63,60	3298,10	63,60	3196,85	63,60	3023,26	63,60	2677,37	63,60	2575,56	63,60	2494,72	5,20	162,88	450,40	20701,84
Santarém_terreno do tipo A	Vigas com extremos exteriores	24,40	1285,39	24,40	1285,39	24,40	1283,98	24,40	1283,98	24,40	1276,32	24,40	1087,46	24,40	1057,91			170,80	8327,19
	Vigas exteriores	14,80	690,80	14,80	650,06	14,80	646,08	14,80	588,16	14,80	546,72	14,80	546,72	14,80	521,72			103,60	4190,26
	Vigas interiores	24,40	1151,07	24,40	1148,60	24,40	1160,98	24,40	1061,10	24,40	985,37	24,40	978,17	24,40	915,09	5,20	162,88	176,00	7563,26
	Quantidades totais	63,60	3127,26	63,60	3084,05	63,60	3091,04	63,60	2925,58	63,60	2619,55	63,60	2575,63	63,60	2494,72	5,20	162,88	450,40	20080,71
Santarém_terreno do tipo D	Vigas com extremos exteriores	24,40	1930,89	24,40	1888,46	24,40	1905,61	24,40	1610,09	24,40	1534,22	24,40	1225,98	24,40	1057,91			170,80	11153,16
	Vigas exteriores	14,80	1186,10	14,80	1030,07	14,80	935,40	14,80	766,42	14,80	715,56	14,80	594,76	14,80	543,60			103,60	5771,91
	Vigas interiores	24,40	1662,83	24,40	1589,37	24,40	1619,55	24,40	1418,84	24,40	1317,06	24,40	1058,48	24,40	927,41	5,20	167,48	176,00	9761,02
	Quantidades totais	63,60	4779,82	63,60	4507,90	63,60	4460,56	63,60	3795,35	63,60	3566,84	63,60	2879,22	63,60	2528,92	5,20	167,48	450,40	26686,09
Lisboa_terreno do tipo A	Vigas com extremos exteriores	24,40	1881,40	24,40	2002,50	24,40	1640,90	24,40	1586,14	24,40	1345,70	24,40	1058,54	24,40	1057,91			170,80	10573,09
	Vigas exteriores	14,80	1154,90	14,80	968,36	14,80	858,79	14,80	783,37	14,80	650,06	14,80	553,42	14,80	543,60			103,60	5512,50
	Vigas interiores	24,40	1607,90	24,40	1570,58	24,40	1489,31	24,40	1350,85	24,40	1239,92	24,40	1015,39	24,40	927,41	5,20	167,48	176,00	9368,84
	Quantidades totais	63,60	4644,20	63,60	4541,44	63,60	3989,00	63,60	3720,36	63,60	3235,68	63,60	2627,35	63,60	2528,92	5,20	167,48	450,40	25454,43
Lisboa_terreno do tipo D	Vigas com extremos exteriores	35,72	6562,27	35,72	5841,71	35,72	5345,20	35,72	4664,30	35,72	2878,47	35,72	1915,76	35,72	1368,32			250,04	28576,03
	Vigas exteriores	21,72	3369,11	21,72	3433,43	21,72	3007,57	21,72	2635,92	21,72	1565,98	21,72	1073,10	21,72	787,58			152,04	15872,69
	Vigas interiores	35,72	5032,40	35,72	5074,78	35,72	4914,80	35,72	4209,69	35,72	2563,29	35,72	1753,75	35,72	1292,12	7,72	252,32	257,76	25093,15
	Quantidades totais	93,16	14963,78	93,16	14349,92	93,16	13267,57	93,16	11509,91	93,16	7007,74	93,16	4742,61	93,16	3448,02	7,72	252,32	659,84	69541,87
Lagos_terreno do tipo A	Vigas com extremos exteriores	24,40	3437,53	24,40	2848,86	24,40	2710,37	24,40	2198,73	24,40	1744,88	24,40	1394,78	24,40	1039,35			170,80	15374,50
	Vigas exteriores	14,80	2358,47	14,80	1936,70	14,80	1408,36	14,80	1181,94	14,80	934,82	14,80	670,48	14,80	546,72			103,60	9037,49
	Vigas interiores	24,40	2530,39	24,40	2430,56	24,40	2385,76	24,40	1842,96	24,40	1546,19	24,40	1247,98	24,40	936,58	5,20	167,40	176,00	13087,82
	Quantidades totais	63,60	8326,39	63,60	7216,12	63,60	6504,49	63,60	5223,63	63,60	4225,89	63,60	3313,24	63,60	2522,65	5,20	167,40	450,40	37499,81
Lagos_terreno do tipo D	Vigas com extremos exteriores	55,28	8860,68	55,28	9124,15	55,28	7683,46	55,28	4801,85	55,28	3622,20	55,28	2496,84	55,28	1905,20			386,96	38515,41
	Vigas exteriores	33,68	5776,03	33,68	4980,37	33,68	4691,09	33,68	3094,61	33,68	2067,37	33,68	1425,48	33,68	1134,24			235,76	23169,19
	Vigas interiores	55,28	8579,04	55,28	7781,69	55,28	7372,58	55,28	5002,75	55,28	3398,04	55,28	2382,70	55,28	1854,52	12,08	359,60	399,04	36730,92
	Quantidades totais	144,24	23215,75	144,24	21907,24	144,24	19747,13	144,24	12899,21	144,24	9087,61	144,24	6305,02	144,24	4893,96	12,08	359,60	1021,76	98415,52

## Resultados das quantidades dos materiais utilizados nas pilares :

Estruturas	Localização	Posição														Quantidades totais	
		1º Piso		2º Piso		3º Piso		4º Piso		5º Piso		6º Piso		Laje de cobertura acessível	Laje de cobertura dos acessos		
		Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)
Terreno do tipo A	Pilares de canto	5,76	290,80	5,16	211,35	5,16	211,52	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	324,02	36,72	1672,37
	Pilares de bordo	3,84	152,08	3,44	140,93	3,44	141,04	3,44	141,04	3,44	141,04	3,44	141,04	3,44	297,97	24,48	1155,14
	Pilares interiores	5,76	321,55	5,16	211,44	5,16	211,44	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	1,72	70,52
	Quantidadestotais	15,36	764,43	13,76	563,72	13,76	564,00	13,76	564,16	13,76	564,16	13,76	564,16	13,76	833,55	1,72	70,52
																99,64	4488,70
Terreno do tipo D	Pilares de canto	5,76	290,80	5,16	211,35	5,16	211,52	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	324,02	36,72	1672,37
	Pilares de bordo	3,84	152,08	3,44	140,93	3,44	141,04	3,44	141,04	3,44	141,04	3,44	141,04	3,44	297,97	24,48	1155,14
	Pilares interiores	5,76	321,55	5,16	211,44	5,16	211,44	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	1,72	70,52
	Quantidadestotais	15,36	764,43	13,76	563,72	13,76	564,00	13,76	564,16	13,76	564,16	13,76	564,16	13,76	833,55	1,72	70,52
																99,64	4488,70
Bragança_terreno do tipo A	Pilares de canto	5,76	347,10	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	324,02	36,72	1728,92
	Pilares de bordo	3,84	153,52	3,44	141,04	3,44	141,04	3,44	141,04	3,44	141,04	3,44	141,04	3,44	297,97	24,48	1156,69
	Pilares interiores	5,76	407,49	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	1,72	70,52
	Quantidadestotais	15,36	908,11	13,76	564,16	13,76	564,16	13,76	564,16	13,76	564,16	13,76	564,16	13,76	833,55	1,72	70,52
																99,64	4632,98
Bragança_terreno do tipo D	Pilares de canto	5,76	347,10	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	324,02	36,72	1728,92
	Pilares de bordo	3,84	153,52	3,44	141,04	3,44	141,04	3,44	141,04	3,44	141,04	3,44	141,04	3,44	297,97	24,48	1156,69
	Pilares interiores	5,76	407,49	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	1,72	70,52
	Quantidadestotais	15,36	908,02	13,76	564,16	13,76	564,16	13,76	564,16	13,76	564,16	13,76	564,16	13,76	833,55	1,72	70,52
																99,64	4632,89
Coimbra_terreno do tipo A	Pilares de canto	5,76	352,54	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	324,02	36,72	1734,36
	Pilares de bordo	3,84	153,52	3,44	141,04	3,44	141,04	3,44	141,04	3,44	141,04	3,44	141,04	3,44	297,97	24,48	1156,69
	Pilares interiores	5,76	407,49	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	1,72	70,52
	Quantidadestotais	15,36	913,55	13,76	564,16	13,76	564,16	13,76	564,16	13,76	564,16	13,76	564,16	13,76	833,55	1,72	70,52
																99,64	4638,42
Coimbra_terreno do tipo D	Pilares de canto	5,76	347,10	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	324,02	36,72	1728,92
	Pilares de bordo	3,84	153,52	3,44	141,04	3,44	141,04	3,44	141,04	3,44	141,04	3,44	141,04	3,44	297,97	24,48	1156,69
	Pilares interiores	5,76	407,49	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	1,72	70,52
	Quantidadestotais	15,36	908,11	13,76	564,16	13,76	564,16	13,76	564,16	13,76	564,16	13,76	564,16	13,76	833,55	1,72	70,52
																99,64	4632,98
Santarém_terreno do tipo A	Pilares de canto	5,76	347,10	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	324,02	36,72	1728,92
	Pilares de bordo	3,84	153,52	3,44	141,04	3,44	141,04	3,44	141,04	3,44	141,04	3,44	141,04	3,44	297,97	24,48	1156,69
	Pilares interiores	5,76	407,49	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	1,72	70,52
	Quantidadestotais	15,36	908,11	13,76	564,16	13,76	564,16	13,76	564,16	13,76	564,16	13,76	564,16	13,76	833,55	1,72	70,52
																99,64	4632,98
Santarém_terreno do tipo D	Pilares de canto	5,76	556,43	5,16	392,40	5,16	259,41	5,16	257,40	5,16	257,13	5,16	301,16	5,16	369,45	36,72	2393,38
	Pilares de bordo	3,84	356,91	3,44	321,51	3,44	302,79	3,44	255,24	3,44	237,34	3,44	221,49	3,44	297,41	24,48	1992,69
	Pilares interiores	5,76	723,23	5,16	455,19	5,16	334,44	5,16	226,83	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	1,72	70,52
	Quantidadestotais	15,36	1636,57	13,76	1169,10	13,76	896,64	13,76	739,47	13,76	706,03	13,76	734,21	13,76	878,42	1,72	70,52
																99,64	6830,96
Lisboa_terreno do tipo A	Pilares de canto	5,76	492,96	5,16	303,44	5,16	234,14	5,16	239,22	5,16	250,87	5,16	271,09	5,16	299,73	36,72	2091,45
	Pilares de bordo	3,84	284,48	3,44	264,94	3,44	224,87	3,44	213,93	3,44	191,48	3,44	194,68	3,44	304,12	24,48	1678,50
	Pilares interiores	5,76	589,67	5,16	339,50	5,16	258,00	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	5,16	211,56	1,72	70,52
	Quantidadestotais	15,36	1367,11	13,76	907,88	13,76	717,01	13,76	664,71	13,76	653,91	13,76	677,33	13,76	815,41	1,72	70,52
																99,64	5873,88
Lisboa_terreno do tipo D	Pilares de canto	8,88	2859,46	7,80	1894,72	7,80	1854,17	7,80	1586,73	7,80	1275,99	7,80	890,96	7,80	653,71	55,68	11015,74
	Pilares de bordo	5,92	1826,87	5,20	1563,28	5,20	1359,10	5,20	1138,90	5,20	1014,60	5,20	745,84	5,20	385,48	37,12	8034,07
	Pilares interiores	8,88	2943,95	7,80	2502,24	7,80	2240,04	7,80	1782,10	7,80	1509,69	7,80	1119,66	7,80	779,63	2,60	140,93
	Quantidadestotais	23,68	7630,28	20,80	5960,24	20,80	5453,31	20,80	4507,73	20,80	3800,28	20,80	2756,46	20,80	1818,82	2,60	140,93
																151,08	32068,05
Lagos_terreno do tipo A	Pilares de canto	5,76	1636,64	5,16	1184,62	5,16	885,83	5,16	725,63	5,16	594,92	5,16	482,74	5,16	372,10	36,72	5882,48
	Pilares de bordo	3,84	1084,20	3,44	712,40	3,44	691,05	3,44	673,88	3,44	501,71	3,44	356,74	3,44	315,58	24,48	4335,56
	Pilares interiores	5,76	1777,80	5,16	1416,89	5,16	1079,55	5,16	1016,03	5,16	687,24	5,16	462,12	5,16	321,04	1,72	70,52
	Quantidadestotais	15,36	4498,64	13,76	3313,91	13,76	2656,43	13,76	2415,54	13,76	1783,87	13,76	1301,60	13,76	1008,72	1,72	70,52
																99,64	17049,23
Lagos_terreno do tipo D	Pilares de canto	12,36	3721,14	10,32	2601,16	10,32	2325,48	10,32	1926,09	10,32	1598,88	10,32	1289,81	10,32	903,21	74,28	14365,77
	Pilares de bordo	8,24	2506,64	6,88	1975,16	6,88	1895,04	6,88	1567,36	6,88	1355,00	6,88	1021,13	6,88	689,86	49,52	11010,19
	Pilares interiores	12,36	3841,68	10,32	3175,44	10,32	3002,04	10,32	2455,66	10,32	2059,34	10,32	1582,32	10,32	1034,74	3,44	159,61
	Quantidadestotais	32,96	10069,46	27,52	7751,76	27,52	7222,56	27,52	5949,11	27,52	5013,22	27,52	3893,26	27,52	2627,81	3,44	159,61
																201,52	42686,79

## Resultados das quantidades dos materiais utilizados nas sapatas:

Estruturas	Quantidades totais	
	Betão (m³)	Aço (kg)
Terreno do tipo A	122,24	3638,40
Terreno do tipo D	160,65	4448,52
Bragança_terreno do tipo A	122,24	3638,40
Bragança_terreno do tipo D	180,88	5029,12
Coimbra_terreno do tipo A	122,24	3638,40
Coimbra_terreno do tipo D	180,88	5029,12
Santarém_terreno do tipo A	122,24	3639,20
Santarém_terreno do tipo D	181,04	5005,28
Lisboa_terreno do tipo A	128,72	3580,96
Lisboa_terreno do tipo D	470,24	11390,08
Lagos_terreno do tipo A	161,20	4193,36
Lagos_terreno do tipo D	691,02	30970,02

Resultados das quantidades totais dos materiais por elemento estrutural e por piso:

Estruturas (1º Piso)	Quantidades com lajes		1		2		3		Quantidades com vigas		4		5		6		Quantidades com pilares		Quantidades no piso	
	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)
Terreno do tipo A	119.20	10764.08	24.40	1076.17	14.80	516.24	24.40	930.09	63.60	2522.50	5.76	290.80	3.84	153.08	5.76	321.55	15.36	764.43	198.16	14051.01
Terreno do tipo D	119.20	10764.08	24.40	1076.17	14.80	516.24	24.40	930.09	63.60	2522.50	5.76	290.80	3.84	153.08	5.76	321.55	15.36	764.43	198.16	14051.01
Bragança_terreno do tipo A	119.20	10909.31	24.40	1071.18	14.80	524.84	24.40	966.73	63.60	2562.75	5.76	347.10	3.84	153.52	5.76	407.49	15.36	908.11	198.16	14380.17
Bragança_terreno do tipo D	119.20	11201.90	24.40	1344.14	14.80	714.97	24.40	1213.99	63.60	3273.10	5.76	347.10	3.84	153.52	5.76	407.49	15.36	908.02	198.16	15383.02
Coimbra_terreno do tipo A	119.20	10909.31	24.40	1071.18	14.80	524.84	24.40	966.22	63.60	2562.24	5.76	352.54	3.84	153.52	5.76	407.49	15.36	913.55	198.16	14385.10
Coimbra_terreno do tipo D	119.20	11201.90	24.40	1344.14	14.80	714.97	24.40	1213.99	63.60	3273.10	5.76	347.10	3.84	153.52	5.76	407.49	15.36	908.11	198.16	15383.11
Santarém_terreno do tipo A	119.20	11169.10	24.40	1285.39	14.80	690.80	24.40	1151.07	63.60	3127.26	5.76	347.10	3.84	153.52	5.76	407.49	15.36	908.11	198.16	15204.47
Santarém_terreno do tipo D	119.20	10832.34	24.40	1930.89	14.80	1186.10	24.40	1662.83	63.60	4779.82	5.76	556.43	3.84	356.91	5.76	723.23	15.36	1636.57	198.16	17248.73
Lisboa_terreno do tipo A	119.20	10803.59	24.40	1881.40	14.80	1154.90	24.40	1607.90	63.60	4644.20	5.76	492.96	3.84	284.48	5.76	589.67	15.36	1367.11	198.16	16814.90
Lisboa_terreno do tipo D	119.20	13806.46	35.72	6562.27	21.72	3369.11	35.72	5032.40	93.16	14963.78	8.88	2859.46	5.92	1826.87	8.88	2943.95	23.68	7630.28	236.04	36400.52
Lagos_terreno do tipo A	119.20	13349.27	24.40	3437.53	14.80	2358.47	24.40	2530.39	63.60	8326.39	5.76	1636.64	3.84	1084.20	5.76	1777.80	15.36	4498.64	198.16	26174.30
Lagos_terreno do tipo D	119.20	11973.95	55.28	8860.68	33.68	5776.03	55.28	8579.04	144.24	23215.75	12.36	3721.14	8.24	2506.64	12.36	3841.68	32.96	10069.46	296.40	45259.16

Estruturas (2º Piso)	Quantidades com lajes		1		2		3		Quantidades com vigas		4		5		6		Quantidades com pilares		Quantidades no piso	
	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)
Terreno do tipo A	119.20	10698.07	24.40	1077.52	14.80	516.24	24.40	906.91	63.60	2500.67	5.16	211.35	3.44	140.93	5.16	211.44	13.76	563.72	196.56	13762.46
Terreno do tipo D	119.20	10698.07	24.40	1077.52	14.80	516.24	24.40	906.91	63.60	2500.67	5.16	211.35	3.44	140.93	5.16	211.44	13.76	563.72	196.56	13762.46
Bragança_terreno do tipo A	119.20	10860.33	24.40	1107.78	14.80	546.72	24.40	966.22	63.60	2620.72	5.16	211.56	3.44	141.04	5.16	211.56	13.76	564.16	196.56	14045.21
Bragança_terreno do tipo D	119.20	11189.25	24.40	1372.73	14.80	705.64	24.40	1219.73	63.60	3298.10	5.16	211.56	3.44	141.04	5.16	211.56	13.76	564.16	196.56	15051.51
Coimbra_terreno do tipo A	119.20	10860.33	24.40	1107.78	14.80	546.72	24.40	966.22	63.60	2620.72	5.16	211.56	3.44	141.04	5.16	211.56	13.76	564.16	196.56	14045.21
Coimbra_terreno do tipo D	119.20	11189.25	24.40	1372.73	14.80	705.64	24.40	1219.73	63.60	3298.10	5.16	211.56	3.44	141.04	5.16	211.56	13.76	564.16	196.56	15051.51
Santarém_terreno do tipo A	119.20	11102.62	24.40	1285.39	14.80	650.06	24.40	1148.60	63.60	3084.05	5.16	211.56	3.44	141.04	5.16	211.56	13.76	564.16	196.56	14750.83
Santarém_terreno do tipo D	119.20	10718.76	24.40	1888.46	14.80	1030.07	24.40	1589.37	63.60	4507.90	5.16	392.40	3.44	321.51	5.16	455.19	13.76	1169.10	196.56	16395.76
Lisboa_terreno do tipo A	119.20	10693.89	24.40	2002.50	14.80	968.36	24.40	1570.58	93.16	4541.44	5.16	303.44	3.44	264.94	5.16	339.50	13.76	907.88	196.56	16143.21
Lisboa_terreno do tipo D	119.20	14027.93	35.72	5841.71	21.72	3433.43	35.72	5074.78	93.16	14349.92	7.80	1894.72	5.20	1563.28	7.80	2502.24	20.80	5960.24	233.16	34338.09
Lagos_terreno do tipo A	119.20	12539.45	24.40	2848.86	14.80	1936.70	24.40	2430.56	63.60	7216.12	5.16	1184.62	3.44	712.40	5.16	1416.89	13.76	3313.91	196.56	23609.48
Lagos_terreno do tipo D	119.20	12743.17	55.28	9145.18	33.68	4980.37	55.28	7781.69	144.24	21907.24	10.32	2601.16	6.88	1975.16	10.32	3002.04	27.52	7751.76	290.96	42021.17

Estruturas (3º Piso)	Quantidades com lajes		1		2		3		Quantidades com vigas		4		5		6		Quantidades com pilares		Quantidades no piso	
	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)
Terreno do tipo A	119.20	10031.79	24.40	1077.09	14.80	516.24	24.40	941.22	63.60	2534.55	5.16	211.52	3.44	141.04	5.16	211.44	13.76	564.00	196.56	13130.34
Terreno do tipo D	119.20	10031.79	24.40	1077.09	14.80	516.24	24.40	941.22	63.60	2534.55	5.16	211.52	3.44	141.04	5.16	211.44	13.76	564.00	196.56	13130.34
Bragança_terreno do tipo A	119.20	10256.37	24.40	1111.18	14.80	524.84	24.40	971.63	63.60	2607.65	5.16	211.56	3.44	141.04	5.16	211.56	13.76	564.16	196.56	13428.18
Bragança_terreno do tipo D	119.20	10456.59	24.40	1338.89	14.80	649.38	24.40	1210.67	63.60	3198.94	5.16	211.56	3.44	141.04	5.16	211.56	13.76	564.16	196.56	14219.69
Coimbra_terreno do tipo A	119.20	10256.37	24.40	1111.18	14.80	524.84	24.40	971.63	63.60	2607.65	5.16	211.56	3.44	141.04	5.16	211.56	13.76	564.16	196.56	13428.18
Coimbra_terreno do tipo D	119.20	10456.59	24.40	1338.89	14.80	649.38	24.40	1208.58	63.60	3196.85	5.16	211.56	3.44	141.04	5.16	211.56	13.76	564.16	196.56	14217.60
Santarém_terreno do tipo A	119.20	10444.91	24.40	1283.98	14.80	646.08	24.40	1160.98	63.60	3091.04	5.16	211.56	3.44	141.04	5.16	211.56	13.76	564.16	196.56	14100.11
Santarém_terreno do tipo D	119.20	10619.51	24.40	1905.61	14.80	935.40	24.40	1619.55	63.60	4460.56	5.16	259.41	3.44	302.79	5.16	334.44	13.76	896.64	196.56	15976.71
Lisboa_terreno do tipo A	119.20	10619.39	24.40	1640.90	14.80	858.79	24.40	1489.31	63.60	3989.00	5.16	234.14	3.44	224.87	5.16	258.00	13.76	717.01	196.56	15325.40
Lisboa_terreno do tipo D	119.20	12652.77	35.72	5345.20	21.72	3007.57	35.72	4914.80	93.16	13267.57	7.80	1854.17	5.20	1359.10	7.80	2240.04	20.80	5453.31	233.16	31373.65
Lagos_terreno do tipo A	119.20	12364.44	24.40	2710.37	14.80	1408.36	24.40	2385.76	63.60	6504.49	5.16	885.83	3.44	691.05	5.16	1079.55	13.76	2656.43	196.56	21525.36
Lagos_terreno do tipo D	119.20	10538.14	55.28	7683.46	33.68	4691.09	55.28	7372.58	144.24	19747.13	10.32	2325.48	6.88	1895.04	10.32	3002.04	27.52	7222.56	290.96	37507.83

Estruturas (4º Piso)	Quantidades com lajes		1		2		3		Quantidades com vigas		4		5		6		Quantidades com pilares		Quantidades no piso	
	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)	Betão (m³)	Aço (kg)
Terreno do tipo A	119.20	7578.97	24.40	997.21	14.80	516.24	24.40	946.57	63.60	2460.02	5.16	211.56	3.44	141.04	5.16	211.56	13.76	564.16	196.56	10603.15
Terreno do tipo D	119.20	7578.97	24.40	997.21	14.80	516.24	24.40	946.57	63.60	2460.02	5.16	211.56	3.44	141.04	5.16	211.56	13.76	564.16	196.56	10603.15
Bragança_terreno do tipo A	119.20	10304.38	24.40	1099.01	14.80	524.84	24.40	973.87	63.60	2597.72	5.16	211.56	3.44	141.04	5.16	211.56	13.76	564.16	196.56	13466.2

Estruturas (Laje de cobertura acessível)	Quantidades com lajes		1		2		3		Quantidades com vigas		4		5		6		Quantidades com pilares		Quantidades no piso	
	Betão (m3)	Aço (kg)	Betão (m3)	Aço (kg)	Betão (m3)	Aço (kg)	Betão (m3)	Aço (kg)	Betão (m3)	Aço (kg)	Betão (m3)	Aço (kg)	Betão (m3)	Aço (kg)	Betão (m3)	Aço (kg)	Betão (m3)	Aço (kg)	Betão (m3)	Aço (kg)
Terreno do tipo A	120,00	10083,09	24,40	1076,17	14,80	521,72	24,40	904,57	63,60	2502,46	5,16	324,02	3,44	297,97	5,16	211,56	13,76	833,55	197,36	13419,10
Terreno do tipo D	120,00	10083,09	24,40	1076,17	14,80	521,72	24,40	904,57	63,60	2502,46	5,16	324,02	3,44	297,97	5,16	211,56	13,76	833,55	197,36	13419,10
Bragança_terreno do tipo A	120,00	10096,75	24,40	1054,91	14,80	521,72	24,40	906,40	63,60	2483,03	5,16	324,02	3,44	297,97	5,16	211,56	13,76	833,55	197,36	13413,33
Bragança_terreno do tipo D	120,00	10176,32	24,40	1057,91	14,80	521,72	24,40	915,09	63,60	2494,72	5,16	324,02	3,44	297,97	5,16	211,56	13,76	833,55	197,36	13504,59
Coimbra_terreno do tipo A	120,00	10096,75	24,40	1054,91	14,80	521,72	24,40	906,40	63,60	2483,03	5,16	324,02	3,44	297,97	5,16	211,56	13,76	833,55	197,36	13413,33
Coimbra_terreno do tipo D	120,00	10168,70	24,40	1057,91	14,80	521,72	24,40	915,09	63,60	2494,72	5,16	324,02	3,44	297,97	5,16	211,56	13,76	833,55	197,36	13496,97
Santarém_terreno do tipo A	120,00	10159,51	24,40	1057,91	14,80	521,72	24,40	915,09	63,60	2494,72	5,16	324,02	3,44	297,97	5,16	211,56	13,76	833,55	197,36	13487,78
Santarém_terreno do tipo D	120,00	10400,12	24,40	1057,91	14,80	543,60	24,40	927,41	63,60	2528,92	5,16	369,45	3,44	297,41	5,16	211,56	13,76	878,42	197,36	13807,46
Lisboa_terreno do tipo A	120,00	10359,46	24,40	1057,91	14,80	543,60	24,40	927,41	63,60	2528,92	5,16	299,73	3,44	304,12	5,16	211,56	13,76	815,41	197,36	13703,79
Lisboa_terreno do tipo D	120,00	9952,34	35,72	1368,32	21,72	787,58	35,72	1292,12	93,16	3448,02	7,80	653,71	5,20	385,48	7,80	779,63	20,80	1818,82	233,96	15219,18
Lagos_terreno do tipo A	120,00	10417,45	24,40	1039,35	14,80	546,72	24,40	936,58	63,60	2522,65	5,16	372,10	3,44	315,58	5,16	321,04	13,76	1008,72	197,36	13948,82
Lagos_terreno do tipo D	120,00	11501,50	55,28	1905,20	33,68	1134,24	55,28	1854,52	144,24	4893,96	10,32	903,21	6,88	689,86	10,32	1034,74	27,52	2627,81	291,76	19023,27

Estruturas (Laje de cobertura dos acessos)	Quantidades com lajes		1		2		3		Quantidades com vigas		4		5		6		Quantidades com pilares		Quantidades no piso	
	Betão (m3)	Aço (kg)	Betão (m3)	Aço (kg)	Betão (m3)	Aço (kg)	Betão (m3)	Aço (kg)	Betão (m3)	Aço (kg)	Betão (m3)	Aço (kg)	Betão (m3)	Aço (kg)	Betão (m3)	Aço (kg)	Betão (m3)	Aço (kg)	Betão (m3)	Aço (kg)
Terreno do tipo A	5,00	88,74	0,00	0,00	0,00	0,00	5,20	158,28	5,20	158,28	0,00	0,00	0,00	0,00	1,72	70,52	1,72	70,52	11,92	317,54
Terreno do tipo D	5,00	88,74	0,00	0,00	0,00	0,00	5,20	158,28	5,20	158,28	0,00	0,00	0,00	0,00	1,72	70,52	1,72	70,52	11,92	317,54
Bragança_terreno do tipo A	5,00	88,74	0,00	0,00	0,00	0,00	5,20	158,28	5,20	158,28	0,00	0,00	0,00	0,00	1,72	70,52	1,72	70,52	11,92	317,54
Bragança_terreno do tipo D	5,00	88,74	0,00	0,00	0,00	0,00	5,20	162,88	5,20	162,88	0,00	0,00	0,00	0,00	1,72	70,52	1,72	70,52	11,92	322,14
Coimbra_terreno do tipo A	5,00	88,74	0,00	0,00	0,00	0,00	5,20	158,28	5,20	158,28	0,00	0,00	0,00	0,00	1,72	70,52	1,72	70,52	11,92	317,54
Coimbra_terreno do tipo D	5,00	88,74	0,00	0,00	0,00	0,00	5,20	162,88	5,20	162,88	0,00	0,00	0,00	0,00	1,72	70,52	1,72	70,52	11,92	322,14
Santarém_terreno do tipo A	5,00	88,74	0,00	0,00	0,00	0,00	5,20	162,88	5,20	162,88	0,00	0,00	0,00	0,00	1,72	70,52	1,72	70,52	11,92	322,14
Santarém_terreno do tipo D	5,00	88,74	0,00	0,00	0,00	0,00	5,20	167,48	5,20	167,48	0,00	0,00	0,00	0,00	1,72	70,52	1,72	70,52	11,92	326,74
Lisboa_terreno do tipo A	5,00	89,28	0,00	0,00	0,00	0,00	5,20	167,48	5,20	167,48	0,00	0,00	0,00	0,00	1,72	70,52	1,72	70,52	11,92	327,28
Lisboa_terreno do tipo D	5,00	93,96	0,00	0,00	0,00	0,00	7,72	252,32	7,72	252,32	0,00	0,00	0,00	0,00	2,60	140,93	2,60	140,93	15,32	487,21
Lagos_terreno do tipo A	5,00	92,66	0,00	0,00	0,00	0,00	5,20	167,40	5,20	167,40	0,00	0,00	0,00	0,00	1,72	70,52	1,72	70,52	11,92	330,58
Lagos_terreno do tipo D	5,00	82,35	0,00	0,00	0,00	0,00	12,08	359,60	12,08	359,60	0,00	0,00	0,00	0,00	3,44	159,61	3,44	159,61	20,52	601,56

Resultados das quantidades totais dos materiais por elemento estrutural:

Estruturas	Quantidades totais nas fundações		Quantidades totais com lajes		Quantidades totais com vigas			Quantidades com pilares		Quantidades totais	
	Betão (m3)	Aço (kg)	Betão (m3)	Aço (kg)	Betão (m3)	Aço (kg)	Custos	Betão (m3)	Aço (kg)	Betão (m3)	Aço (kg)
Terreno do tipo A	122,24	3638,40	840,20	69139,95	450,40	17762,48	44417,40	99,64	4488,70	1512,48	95029,53
Terreno do tipo D	160,65	4448,52	840,20	69139,95	450,40	17762,48	44417,40	99,64	4488,70	1550,89	95839,65
Bragança_terreno do tipo A	122,24	3638,40	840,20	73025,80	450,40	18183,91	44665,10	99,64	4632,98	1512,48	99481,09
Bragança_terreno do tipo D	180,88	5029,12	840,20	73554,50	450,40	20703,89	46090,66	99,64	4632,89	1571,12	103920,40
Coimbra_terreno do tipo A	122,24	3638,40	840,20	73025,80	450,40	18183,40	44664,80	99,64	4638,42	1512,48	99486,02
Coimbra_terreno do tipo D	180,88	5029,12	840,20	73546,83	450,40	20701,84	46089,47	99,64	4632,98	1571,12	103910,77
Santarém_terreno do tipo A	122,24	3639,20	840,20	73354,85	450,40	20080,71	45745,20	99,64	4632,98	1512,48	101707,74
Santarém_terreno do tipo D	181,04	5005,28	840,20	73496,87	450,40	26686,09	49398,89	99,64	6830,96	1571,28	112019,20
Lisboa_terreno do tipo A	128,72	3580,96	840,20	73345,82	450,40	25454,43	48696,41	99,64	5873,88	1518,96	108255,09
Lisboa_terreno do tipo D	470,24	11390,08	840,20	84985,14	659,84	69541,87	88809,05	151,08	32068,05	2121,36	197985,14
Lagos_terreno do tipo A	161,20	4193,36	840,20	79894,51	450,40	37499,81	55265,32	99,64	17049,23	1551,44	138636,91
Lagos_terreno do tipo D	691,02	30970,02	840,20	77637,13	1021,76	98415,52	132031,68	201,52	42686,79	2754,50	249709,46

**Anexo V: Resultados económicos***Resultados dos custos das lajes :*

Estruturas	Localização								Custos totais
	1º Piso	2º Piso	3º Piso	4º Piso	5º Piso	6º Piso	Laje de cobertura acessível	Laje de cobertura dos acessos	
Terreno do tipo A	14.823,04 €	14.797,89 €	14.435,43 €	13.336,05 €	14.639,69 €	14.427,72 €	14.543,77 €	430,91 €	101.434,50 €
Terreno do tipo D	14.823,04 €	14.797,89 €	14.435,43 €	13.336,05 €	14.639,69 €	14.427,72 €	14.543,77 €	430,91 €	101.434,50 €
Bragança_terreno do tipo A	14.901,90 €	14.875,30 €	14.557,61 €	14.583,72 €	14.833,26 €	14.548,22 €	14.551,23 €	430,91 €	103.282,15 €
Bragança_terreno do tipo D	15.060,77 €	15.042,71 €	14.656,07 €	14.641,81 €	14.607,64 €	14.521,32 €	14.594,67 €	430,91 €	103.555,90 €
Coimbra_terreno do tipo A	14.901,90 €	14.875,30 €	14.557,61 €	14.583,72 €	14.833,26 €	14.548,22 €	14.551,23 €	430,91 €	103.282,15 €
Coimbra_terreno do tipo D	15.060,77 €	15.042,71 €	14.656,07 €	14.641,81 €	14.607,64 €	14.521,30 €	14.590,51 €	430,91 €	103.551,72 €
Santarém_terreno do tipo A	15.042,96 €	15.006,86 €	14.649,73 €	14.627,57 €	14.604,06 €	14.521,26 €	14.585,49 €	430,91 €	103.468,84 €
Santarém_terreno do tipo D	14.870,93 €	14.809,15 €	14.744,53 €	14.674,79 €	14.686,27 €	14.619,45 €	14.706,47 €	430,91 €	103.542,50 €
Lisboa_terreno do tipo A	14.855,29 €	14.795,62 €	14.744,47 €	14.667,04 €	14.698,99 €	14.593,43 €	14.684,31 €	431,24 €	103.470,39 €
Lisboa_terreno do tipo D	16.309,37 €	16.384,89 €	15.722,07 €	15.636,17 €	14.799,65 €	14.934,05 €	14.661,47 €	434,67 €	108.882,34 €
Lagos_terreno do tipo A	16.226,79 €	15.799,60 €	15.679,67 €	15.186,43 €	14.223,69 €	14.640,97 €	14.715,91 €	433,49 €	106.906,55 €
Lagos_terreno do tipo D	15.515,92 €	15.846,71 €	14.837,35 €	14.552,36 €	14.138,22 €	15.244,88 €	15.398,73 €	427,82 €	105.961,99 €

*Resultados dos custos das vigas :*

Estruturas	Localização	Posição								Custos
		1º Piso	2º Piso	3º Piso	4º Piso	5º Piso	6º Piso	Laje de cobertura acessível	Laje de cobertura dos acessos	
Terreno do tipo A	Vigas com extremos exteriores	2.475,98 €	2.476,78 €	2.476,52 €	2.417,93 €	2.499,25 €	2.454,84 €	2.458,97 €		17.260,26 €
	Vigas exteriores	1.418,29 €	1.418,29 €	1.418,29 €	1.418,29 €	1.418,29 €	1.418,29 €	1.421,51 €		9.931,22 €
	Vigas interiores	2.389,35 €	2.376,10 €	2.397,83 €	2.401,02 €	2.401,02 €	2.401,18 €	2.374,22 €	485,21 €	17.225,92 €
	Custos totais	6.283,61 €	6.271,16 €	6.292,64 €	6.237,24 €	6.318,55 €	6.274,30 €	6.254,69 €	485,21 €	44.417,40 €
Terreno do tipo D	Vigas com extremos exteriores	2.475,98 €	2.476,78 €	2.476,52 €	2.417,93 €	2.499,25 €	2.454,84 €	2.458,97 €		17.260,26 €
	Vigas exteriores	1.418,29 €	1.418,29 €	1.418,29 €	1.418,29 €	1.418,29 €	1.418,29 €	1.421,51 €		9.931,22 €
	Vigas interiores	2.389,35 €	2.376,10 €	2.397,83 €	2.401,02 €	2.401,02 €	2.401,18 €	2.374,22 €	485,21 €	17.225,92 €
	Custos totais	6.283,61 €	6.271,16 €	6.292,64 €	6.237,24 €	6.318,55 €	6.274,30 €	6.254,69 €	485,21 €	44.417,40 €
Bragança_terreno do tipo A	Vigas com extremos exteriores	2.471,94 €	2.487,52 €	2.490,07 €	2.482,93 €	2.501,64 €	2.457,48 €	2.461,26 €		17.352,85 €
	Vigas exteriores	1.423,34 €	1.435,66 €	1.423,34 €	1.423,34 €	1.423,34 €	1.418,29 €	1.421,51 €		9.968,82 €
	Vigas interiores	2.410,60 €	2.410,30 €	2.414,96 €	2.416,78 €	2.416,78 €	2.413,51 €	2.375,30 €	485,21 €	17.343,44 €
	Custos totais	6.305,88 €	6.333,48 €	6.328,38 €	6.323,05 €	6.341,76 €	6.289,28 €	6.258,07 €	485,21 €	44.665,10 €
Bragança_terreno do tipo D	Vigas com extremos exteriores	2.618,75 €	2.638,10 €	2.615,03 €	2.588,94 €	2.512,06 €	2.463,01 €	2.463,03 €		17.898,92 €
	Vigas exteriores	1.534,42 €	1.528,25 €	1.494,62 €	1.467,43 €	1.435,66 €	1.435,66 €	1.421,51 €		10.317,56 €
	Vigas interiores	2.550,72 €	2.554,09 €	2.546,97 €	2.509,19 €	2.425,74 €	2.419,26 €	2.380,46 €	487,76 €	17.874,19 €
	Custos totais	6.703,90 €	6.720,44 €	6.656,62 €	6.565,56 €	6.373,46 €	6.317,93 €	6.265,00 €	487,76 €	46.090,66 €
Coimbra_terreno do tipo A	Vigas com extremos exteriores	2.471,94 €	2.487,52 €	2.490,07 €	2.482,93 €	2.501,64 €	2.457,48 €	2.461,26 €		17.352,85 €
	Vigas exteriores	1.423,34 €	1.435,66 €	1.423,34 €	1.423,34 €	1.423,34 €	1.418,29 €	1.421,51 €		9.968,82 €
	Vigas interiores	2.410,30 €	2.410,30 €	2.414,96 €	2.416,78 €	2.416,78 €	2.413,51 €	2.375,30 €	485,21 €	17.343,14 €
	Custos totais	6.305,58 €	6.333,48 €	6.328,38 €	6.323,05 €	6.341,76 €	6.289,28 €	6.258,07 €	485,21 €	44.664,80 €
Coimbra_terreno do tipo D	Vigas com extremos exteriores	2.618,75 €	2.638,10 €	2.615,03 €	2.588,94 €	2.512,06 €	2.463,00 €	2.463,03 €		17.898,91 €
	Vigas exteriores	1.534,42 €	1.528,25 €	1.494,62 €	1.467,43 €	1.435,66 €	1.435,66 €	1.421,51 €		10.317,56 €
	Vigas interiores	2.550,72 €	2.554,09 €	2.545,74 €	2.509,19 €	2.425,74 €	2.419,29 €	2.380,46 €	487,76 €	17.873,00 €
	Custos totais	6.703,90 €	6.720,44 €	6.655,40 €	6.565,56 €	6.373,46 €	6.317,95 €	6.265,00 €	487,76 €	46.089,47 €
Santarém_terreno do tipo A	Vigas com extremos exteriores	2.589,76 €	2.589,76 €	2.588,94 €	2.584,46 €	2.482,11 €	2.463,00 €	2.463,03 €		17.761,06 €
	Vigas exteriores	1.518,51 €	1.495,02 €	1.492,69 €	1.458,81 €	1.435,66 €	1.435,66 €	1.421,51 €		10.257,86 €
	Vigas interiores	2.514,64 €	2.513,18 €	2.521,63 €	2.465,66 €	2.423,61 €	2.419,33 €	2.380,46 €	487,76 €	17.726,28 €
	Custos totais	6.622,91 €	6.597,97 €	6.603,26 €	6.508,93 €	6.341,38 €	6.317,99 €	6.265,00 €	487,76 €	45.745,20 €
Santarém_terreno do tipo D	Vigas com extremos exteriores	2.960,66 €	2.928,17 €	2.917,76 €	2.767,63 €	2.715,17 €	2.561,14 €	2.463,03 €		19.313,56 €
	Vigas exteriores	1.780,28 €	1.706,65 €	1.657,29 €	1.563,09 €	1.534,77 €	1.462,67 €	1.433,83 €		11.138,58 €
	Vigas interiores	2.794,29 €	2.755,63 €	2.777,90 €	2.671,74 €	2.605,00 €	2.464,41 €	2.387,30 €	490,48 €	18.946,75 €
	Custos totais	7.535,23 €	7.390,45 €	7.352,95 €	7.002,46 €	6.854,94 €	6.488,22 €	6.284,16 €	490,48 €	49.398,89 €
Lisboa_terreno do tipo A	Vigas com extremos exteriores	2.902,54 €	2.965,77 €	2.788,74 €	2.751,42 €	2.628,73 €	2.454,52 €	2.463,03 €		18.954,76 €
	Vigas exteriores	1.771,97 €	1.676,39 €	1.618,85 €	1.569,87 €	1.495,02 €	1.439,59 €	1.433,83 €		11.005,53 €
	Vigas interiores	2.772,31 €	2.751,35 €	2.695,59 €	2.632,79 €	2.566,88 €	2.439,42 €	2.387,30 €	490,48 €	18.736,12 €
	Custos totais	7.446,82 €	7.393,52 €	7.103,17 €	6.954,09 €	6.690,63 €	6.333,54 €	6.284,16 €	490,48 €	48.696,41 €
Lisboa_terreno do tipo D	Vigas com extremos exteriores	6.222,03 €	5.929,61 €	5.690,94 €	5.311,11 €	4.331,71 €	3.814,98 €	3.499,11 €		34.799,48 €
	Vigas exteriores	3.503,05 €	3.547,53 €	3.323,07 €	3.130,21 €	2.527,77 €	2.262,64 €	2.099,05 €		20.393,32 €
	Vigas interiores	5.494,65 €	5.523,29 €	5.472,76 €	5.072,32 €	4.152,88 €	3.717,23 €	3.452,78 €	730,34 €	33.616,25 €
	Custos totais	15.219,73 €	15.000,43 €	14.486,76 €	13.513,64 €	11.012,36 €	9.794,85 €	9.050,94 €	730,34 €	88.809,05 €
Lagos_terreno do tipo A	Vigas com extremos exteriores	3.748,86 €	3.409,94 €	3.370,14 €	3.091,60 €	2.835,47 €	2.656,54 €	2.452,06 €		21.564,62 €
	Vigas exteriores	2.432,03 €	2.193,73 €	1.905,50 €	1.802,02 €	1.656,95 €	1.506,31 €	1.435,66 €		12.932,19 €
	Vigas interiores	3.270,64 €	3.217,83 €	3.191,09 €	2.905,58 €	2.729,52 €	2.571,62 €	2.391,80 €	490,43 €	20.768,50 €
	Custos totais	9.451,53 €	8.821,51 €	8.466,72 €	7.799,20 €	7.221,94 €	6.734,47 €	6.279,53 €	490,43 €	55.265,32 €
Lagos_terreno do tipo D	Vigas com extremos exteriores	9.097,74 €	9.056,19 €	8.453,10 €	6.891,48 €	6.235,15 €	5.611,82 €	5.283,95 €		50.629,41 €
	Vigas exteriores	5.669,55 €	5.321,92 €	5.176,82 €	4.264,30 €	3.714,43 €	3.352,75 €	3.204,83 €		30.704,61 €
	Vigas interiores	8.917,53 €	8.515,65 €	8.300,22 €	6.950,48 €	6.101,84 €	5.532,06 €	5.257,86 €	1.122,03 €	50.697,66 €
	Custos totais	23.684,82 €	22.893,76 €	21.930,13 €	18.106,26 €	16.051,41 €	14.496,63 €	13.746,64 €	1.122,03 €	132.031,68 €

*Resultados dos custos dos pilares :*

Estruturas	Localização	Posição								Custos
		1º Piso	2º Piso	3º Piso	4º Piso	5º Piso	6º Piso	Laje de cobertura acessível	Laje de cobertura dos acessos	
Terreno do tipo A	Pilares de canto	601,15 €	510,18 €	514,15 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	583,34 €		3.758,76 €
	Pilares de bordo	379,41 €	341,99 €	344,43 €	344,43 €	344,43 €	344,43 €	439,21 €		2.538,32 €
	Pilares interiores	612,34 €	509,17 €	509,17 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	172,22 €	3.869,48 €
	Custos totais	1.592,90 €	1.361,33 €	1.367,76 €	1.377,72 €	1.377,72 €	1.377,72 €	1.539,19 €	172,22 €	10.166,56 €
Terreno do tipo D	Pilares de canto	601,15 €	510,18 €	514,15 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	583,34 €		3.758,76 €
	Pilares de bordo	379,41 €	341,99 €	344,43 €	344,43 €	344,43 €	344,43 €	439,21 €		2.538,32 €
	Pilares interiores	612,34 €	509,17 €	509,17 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	172,22 €	3.869,48 €
	Custos totais	1.592,90 €	1.361,33 €	1.367,76 €	1.377,72 €	1.377,72 €	1.377,72 €	1.539,19 €	172,22 €	10.166,56 €
Bragança_terreno do tipo A	Pilares de canto	640,47 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	583,34 €		3.807,03 €
	Pilares de bordo	382,11 €	344,43 €	344,43 €	344,43 €	344,43 €	344,43 €	439,21 €		2.543,46 €
	Pilares interiores	678,04 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	172,22 €	3.950,12 €
	Custos totais	1.700,61 €	1.377,72 €	1.377,72 €	1.377,72 €	1.377,72 €	1.377,72 €	1.539,19 €	172,22 €	10.300,62 €
Bragança_terreno do tipo D	Pilares de canto	640,47 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	583,34 €		3.807,03 €
	Pilares de bordo	382,11 €	344,43 €	344,43 €	344,43 €	344,43 €	344,43 €	439,21 €		2.543,46 €
	Pilares interiores	677,98 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	172,22 €	3.950,07 €
	Custos totais	1.700,56 €	1.377,72 €	1.377,72 €	1.377,72 €	1.377,72 €	1.377,72 €	1.539,19 €	172,22 €	10.300,57 €
Coimbra_terreno do tipo A	Pilares de canto	643,88 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	583,34 €		3.810,45 €
	Pilares de bordo	382,11 €	344,43 €	344,43 €	344,43 €	344,43 €	344,43 €	439,21 €		2.543,46 €
	Pilares interiores	678,04 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	172,22 €	3.950,12 €
	Custos totais	1.704,03 €	1.377,72 €	1.377,72 €	1.377,72 €	1.377,72 €	1.377,72 €	1.539,19 €	172,22 €	10.304,03 €
Coimbra_terreno do tipo D	Pilares de canto	640,47 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	583,34 €		3.807,03 €
	Pilares de bordo	382,11 €	344,43 €	344,43 €	344,43 €	344,43 €	344,43 €	439,21 €		2.543,46 €
	Pilares interiores	678,04 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	172,22 €	3.950,12 €
	Custos totais	1.700,61 €	1.377,72 €	1.377,72 €	1.377,72 €	1.377,72 €	1.377,72 €	1.539,19 €	172,22 €	10.300,62 €
Santarém_terreno do tipo A	Pilares de canto	640,47 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	583,34 €		3.807,03 €
	Pilares de bordo	382,11 €	344,43 €	344,43 €	344,43 €	344,43 €	344,43 €	439,21 €		2.543,46 €
	Pilares interiores	678,04 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	172,22 €	3.950,12 €
	Custos totais	1.700,61 €	1.377,72 €	1.377,72 €	1.377,72 €	1.377,72 €	1.377,72 €	1.539,19 €	172,22 €	10.300,62 €
Santarém_terreno do tipo D	Pilares de canto	755,57 €	621,64 €	543,74 €	544,47 €	542,03 €	568,27 €	610,87 €		4.186,60 €
	Pilares de bordo	498,50 €	447,52 €	438,95 €	411,61 €	400,76 €	389,38 €	437,91 €		3.024,64 €
	Pilares interiores	851,68 €	651,84 €	588,89 €	526,02 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	172,22 €	4.340,58 €
	Custos totais	2.105,75 €	1.721,00 €	1.571,59 €	1.482,11 €	1.459,44 €	1.474,30 €	1.565,43 €	172,22 €	11.551,82 €
Lisboa_terreno do tipo A	Pilares de canto	724,22 €	568,60 €	530,27 €	533,36 €	539,71 €	551,90 €	563,22 €		4.011,28 €
	Pilares de bordo	458,37 €	415,30 €	390,02 €	386,78 €	374,12 €	375,73 €	443,25 €		2.843,57 €
	Pilares interiores	778,87 €	583,25 €	544,41 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	516,65 €	172,22 €	4.145,33 €
	Custos totais	1.961,47 €	1.567,15 €	1.464,70 €	1.436,78 €	1.430,47 €	1.444,28 €	1.523,11 €	172,22 €	11.000,18 €
Lisboa_terreno do tipo D	Pilares de canto	2.168,03 €	1.606,74 €	1.617,22 €	1.499,11 €	1.329,52 €	1.111,06 €	980,78 €		10.312,46 €
	Pilares de bordo	1.403,19 €	1.217,08 €	1.109,67 €	1.014,08 €	961,75 €	826,00 €	614,20 €		7.145,98 €
	Pilares interiores	2.208,53 €	1.908,68 €	1.769,72 €	1.560,25 €	1.436,34 €	1.237,81 €	1.060,47 €	281,83 €	11.463,62 €
	Custos totais	5.779,75 €	4.732,49 €	4.496,61 €	4.073,44 €	3.727,61 €	3.174,87 €	2.655,44 €	281,83 €	28.922,05 €
Lagos_terreno do tipo A	Pilares de canto	1.290,56 €	1.019,04 €	882,71 €	803,89 €	735,10 €	672,39 €	605,86 €		6.009,55 €
	Pilares de bordo	861,24 €	641,66 €	632,71 €	644,22 €	546,90 €	465,90 €	445,95 €		4.238,59 €
	Pilares interiores	1.354,76 €	1.131,72 €	970,30 €	977,50 €	785,55 €	661,70 €	583,20 €	172,22 €	6.636,94 €
	Custos totais	3.506,56 €	2.792,42 €	2.485,72 €	2.425,61 €	2.067,55 €	1.799,99 €	1.635,02 €	172,22 €	16.885,09 €
Lagos_terreno do tipo D	Pilares de canto	2.910,60 €	2.194,06 €	2.052,71 €	1.862,33 €	1.687,28 €	1.542,92 €	1.322,18 €		13.572,07 €
	Pilares de bordo	1.948,94 €	1.570,05 €	1.535,84 €	1.384,55 €	1.279,52 €	1.114,84 €	930,17 €		9.763,90 €
	Pilares interiores	2.974,73 €	2.469,81 €	2.389,40 €	2.132,83 €	1.928,47 €	1.695,94 €	1.395,33 €	354,52 €	15.341,03 €
	Custos totais	7.834,27 €	6.233,92 €	5.977,95 €	5.379,70 €	4.895,27 €	4.353,69 €	3.647,68 €	354,52 €	38.677,00 €

*Resultados dos custos das sapatas :*

Estruturas	Custos totais
Terreno do tipo A	11.114,70 €
Terreno do tipo D	14.431,49 €
Bragança_terreno do tipo A	11.114,70 €
Bragança_terreno do tipo D	16.252,17 €
Coimbra_terreno do tipo A	11.114,70 €
Coimbra_terreno do tipo D	16.252,17 €
Santarém_terreno do tipo A	11.115,13 €
Santarém_terreno do tipo D	16.254,82 €
Lisboa_terreno do tipo A	11.604,22 €
Lisboa_terreno do tipo D	41.292,10 €
Lagos_terreno do tipo A	14.353,01 €
Lagos_terreno do tipo D	67.972,29 €

*Resultados dos custos totais por elemento estrutural e por piso:*

Estruturas (1º Piso)	Custo total com lajes	1	2	3	Custo total com vigas	4	5	6	Custo total com pilares	Custo total com o piso
Terreno do tipo A	14.823,04 €	2.475,98 €	1.418,29 €	2.389,35 €	6.283,61 €	601,15 €	379,41 €	612,34 €	1.592,90 €	22.699,56 €
Terreno do tipo D	14.823,04 €	2.475,98 €	1.418,29 €	2.389,35 €	6.283,61 €	601,15 €	379,41 €	612,34 €	1.592,90 €	22.699,56 €
Bragança_terreno do tipo A	14.901,90 €	2.471,94 €	1.423,34 €	2.410,60 €	6.305,88 €	640,47 €	382,11 €	678,04 €	1.700,61 €	22.908,40 €
Bragança_terreno do tipo D	15.060,77 €	2.618,75 €	1.534,42 €	2.550,72 €	6.703,90 €	640,47 €	382,11 €	677,98 €	1.700,56 €	23.465,23 €
Coimbra_terreno do tipo A	14.901,90 €	2.471,94 €	1.423,34 €	2.410,30 €	6.305,58 €	643,88 €	382,11 €	678,04 €	1.704,03 €	22.911,51 €
Coimbra_terreno do tipo D	15.060,77 €	2.618,75 €	1.534,42 €	2.550,72 €	6.703,90 €	640,47 €	382,11 €	678,04 €	1.700,61 €	23.465,29 €
Santarém_terreno do tipo A	15.042,96 €	2.589,76 €	1.518,51 €	2.514,64 €	6.622,91 €	640,47 €	382,11 €	678,04 €	1.700,61 €	23.366,48 €
Santarém_terreno do tipo D	14.870,93 €	2.960,66 €	1.780,28 €	2.794,29 €	7.535,23 €	755,57 €	498,50 €	851,68 €	2.105,75 €	24.511,91 €
Lisboa_terreno do tipo A	14.855,29 €	2.902,54 €	1.771,97 €	2.772,31 €	7.446,82 €	724,22 €	458,37 €	778,87 €	1.961,47 €	24.263,58 €
Lisboa_terreno do tipo D	16.309,37 €	6.222,03 €	3.503,05 €	5.494,65 €	15.219,73 €	2.168,03 €	1.403,19 €	2.208,53 €	5.779,75 €	37.308,85 €
Lagos_terreno do tipo A	16.226,79 €	3.748,86 €	2.432,03 €	3.270,64 €	9.451,53 €	1.290,56 €	861,24 €	1.354,76 €	3.506,56 €	29.184,88 €
Lagos_terreno do tipo D	15.515,92 €	9.097,74 €	5.669,55 €	8.917,53 €	23.684,82 €	2.910,60 €	1.948,94 €	2.974,73 €	7.834,27 €	47.035,02 €

Estruturas (2º Piso)	Custo total com lajes	1	2	3	Custo total com vigas	4	5	6	Custo total com pilares	Custo total com o piso
Terreno do tipo A	14.797,89 €	2.476,78 €	1.418,29 €	2.376,10 €	6.271,16 €	510,18 €	341,99 €	509,17 €	1.361,33 €	22.430,38 €
Terreno do tipo D	14.797,89 €	2.476,78 €	1.418,29 €	2.376,10 €	6.271,16 €	510,18 €	341,99 €	509,17 €	1.361,33 €	22.430,38 €
Bragança_terreno do tipo A	14.875,30 €	2.487,52 €	1.435,66 €	2.410,30 €	6.333,48 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	22.586,50 €
Bragança_terreno do tipo D	15.042,71 €	2.638,10 €	1.528,25 €	2.554,09 €	6.720,44 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	23.140,87 €
Coimbra_terreno do tipo A	14.875,30 €	2.487,52 €	1.435,66 €	2.410,30 €	6.333,48 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	22.586,50 €
Coimbra_terreno do tipo D	15.042,71 €	2.638,10 €	1.528,25 €	2.554,09 €	6.720,44 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	23.140,87 €
Santarém_terreno do tipo A	15.006,86 €	2.589,76 €	1.495,02 €	2.513,18 €	6.597,97 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	22.982,55 €
Santarém_terreno do tipo D	14.809,15 €	2.928,17 €	1.706,65 €	2.755,63 €	7.390,45 €	621,64 €	447,52 €	651,84 €	1.721,00 €	23.920,60 €
Lisboa_terreno do tipo A	14.795,62 €	2.965,77 €	1.676,39 €	2.751,35 €	7.393,52 €	568,60 €	415,30 €	583,25 €	1.567,15 €	23.756,29 €
Lisboa_terreno do tipo D	16.384,89 €	5.929,61 €	3.547,53 €	5.523,29 €	15.000,43 €	1.606,74 €	1.217,08 €	1.908,68 €	4.732,49 €	36.117,82 €
Lagos_terreno do tipo A	15.799,60 €	3.409,94 €	2.193,73 €	3.217,83 €	8.821,51 €	1.019,04 €	641,66 €	1.131,72 €	2.792,42 €	27.413,52 €
Lagos_terreno do tipo D	15.846,71 €	9.056,19 €	5.321,92 €	8.515,65 €	22.893,76 €	2.194,06 €	1.570,05 €	2.469,81 €	6.233,92 €	44.974,38 €

Estruturas (3º Piso)	Custo total com lajes	1	2	3	Custo total com vigas	4	5	6	Custo total com pilares	Custo total com o piso
Terreno do tipo A	14.435,43 €	2.476,52 €	1.418,29 €	2.397,83 €	6.292,64 €	514,15 €	344,43 €	509,17 €	1.367,76 €	22.095,83 €
Terreno do tipo D	14.435,43 €	2.476,52 €	1.418,29 €	2.397,83 €	6.292,64 €	514,15 €	344,43 €	509,17 €	1.367,76 €	22.095,83 €
Bragança_terreno do tipo A	14.557,61 €	2.490,07 €	1.423,34 €	2.414,96 €	6.328,38 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	22.263,71 €
Bragança_terreno do tipo D	14.656,07 €	2.615,03 €	1.494,62 €	2.546,97 €	6.656,62 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	22.690,41 €
Coimbra_terreno do tipo A	14.557,61 €	2.490,07 €	1.423,34 €	2.414,96 €	6.328,38 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	22.263,71 €
Coimbra_terreno do tipo D	14.656,07 €	2.615,03 €	1.494,62 €	2.545,74 €	6.655,40 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	22.689,19 €
Santarém_terreno do tipo A	14.649,73 €	2.588,94 €	1.492,69 €	2.521,63 €	6.603,26 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	22.630,71 €
Santarém_terreno do tipo D	14.744,53 €	2.917,76 €	1.657,29 €	2.777,90 €	7.352,95 €	543,74 €	438,95 €	588,89 €	1.571,59 €	23.669,07 €
Lisboa_terreno do tipo A	14.744,47 €	2.788,74 €	1.618,85 €	2.695,59 €	7.103,17 €	530,27 €	390,02 €	544,41 €	1.464,70 €	23.312,34 €
Lisboa_terreno do tipo D	15.722,07 €	5.690,94 €	3.323,07 €	5.472,76 €	14.486,76 €	1.617,22 €	1.109,67 €	1.769,72 €	4.496,61 €	34.705,44 €
Lagos_terreno do tipo A	15.679,67 €	3.370,14 €	1.905,50 €	3.191,09 €	8.466,72 €	882,71 €	632,71 €	970,30 €	2.485,72 €	26.632,11 €
Lagos_terreno do tipo D	14.837,35 €	8.453,10 €	5.176,82 €	8.300,22 €	21.930,13 €	2.052,71 €	1.535,84 €	2.389,40 €	5.977,95 €	42.745,44 €

Estruturas (4º Piso)	Custo total com lajes	1	2	3	Custo total com vigas	4	5	6	Custo total com pilares	Custo total com o piso
Terreno do tipo A	13.336,05 €	2.417,93 €	1.418,29 €	2.401,02 €	6.237,24 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	20.951,01 €
Terreno do tipo D	13.336,05 €	2.417,93 €	1.418,29 €	2.401,02 €	6.237,24 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	20.951,01 €
Bragança_terreno do tipo A	14.583,72 €	2.482,93 €	1.423,34 €	2.416,78 €	6.323,05 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	22.284,49 €
Bragança_terreno do tipo D	14.641,81 €	2.588,94 €	1.467,43 €	2.509,19 €	6.565,56 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	22.585,09 €
Coimbra_terreno do tipo A	14.583,72 €	2.482,93 €	1.423,34 €	2.416,78 €	6.323,05 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	22.284,49 €
Coimbra_terreno do tipo D	14.641,81 €	2.588,94 €	1.467,43 €	2.509,19 €	6.565,56 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	22.585,09 €
Santarém_terreno do tipo A	14.627,57 €	2.584,46 €	1.458,81 €	2.465,66 €	6.508,93 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	22.514,22 €
Santarém_terreno do tipo D	14.674,79 €	2.767,63 €	1.563,09 €	2.671,74 €	7.002,46 €	544,47 €	411,61 €	526,02 €	1.482,11 €	23.159,36 €
Lisboa_terreno do tipo A	14.667,04 €	2.751,42 €	1.569,87 €	2.632,79 €	6.954,09 €	533,36 €	386,78 €	516,65 €	1.436,78 €	23.057,91 €
Lisboa_terreno do tipo D	15.636,17 €	5.311,11 €	3.130,21 €	5.072,32 €	13.513,64 €	1.499,11 €	1.014,08 €	1.560,25 €	4.073,44 €	33.223,25 €
Lagos_terreno do tipo A	15.186,43 €	3.091,60 €	1.802,02 €	2.905,58 €	7.799,20 €	803,89 €	644,22 €	977,50 €	2.425,61 €	25.411,24 €
Lagos_terreno do tipo D	14.552,36 €	6.891,48 €	4.264,30 €	6.950,48 €	18.106,26 €	1.862,33 €	1.384,55 €	2.132,83 €	5.379,70 €	38.038,32 €

Estruturas (5º Piso)	Custo total com lajes	1	2	3	Custo total com vigas	4	5	6	Custo total com pilares	Custo total com o piso
Terreno do tipo A	14.639,69 €	2.499,25 €	1.418,29 €	2.401,02 €	6.318,55 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	22.335,96 €
Terreno do tipo D	14.639,69 €	2.499,25 €	1.418,29 €	2.401,02 €	6.318,55 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	22.335,96 €
Bragança_terreno do tipo A	14.833,26 €	2.501,64 €	1.423,34 €	2.416,78 €	6.341,76 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	22.552,74 €
Bragança_terreno do tipo D	14.607,64 €	2.512,06 €	1.435,66 €	2.425,74 €	6.373,46 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	22.358,82 €
Coimbra_terreno do tipo A	14.833,26 €	2.501,64 €	1.423,34 €	2.416,78 €	6.341,76 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	22.552,74 €
Coimbra_terreno do tipo D	14.607,64 €	2.512,06 €	1.435,66 €	2.425,74 €	6.373,46 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	22.358,82 €
Santarém_terreno do tipo A	14.604,06 €	2.482,11 €	1.435,66 €	2.423,61 €	6.341,38 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	22.323,16 €
Santarém_terreno do tipo D	14.686,27 €	2.715,17 €	1.534,77 €	2.605,00 €	6.854,94 €	542,03 €	400,76 €	516,65 €	1.459,44 €	23.000,65 €
Lisboa_terreno do tipo A	14.698,99 €	2.628,73 €	1.495,02 €	2.566,88 €	6.690,63 €	539,71 €	374,12 €	516,65 €	1.430,47 €	22.820,10 €
Lisboa_terreno do tipo D	14.799,65 €	4.331,71 €	2.527,77 €	4.152,88 €	11.012,36 €	1.329,52 €	961,75 €	1.436,34 €	3.727,61 €	29.539,62 €
Lagos_terreno do tipo A	14.223,69 €	2.835,47 €	1.656,95 €	2.729,52 €	7.221,94 €	735,10 €	546,90 €	785,55 €	2.067,55 €	23.513,19 €
Lagos_terreno do tipo D	14.138,22 €	6.235,15 €	3.714,43 €	6.101,84 €	16.051,41 €	1.687,28 €	1.279,52 €	1.928,47 €	4.895,27 €	35.084,91 €

Estruturas (6º Piso)	Custo total com lajes	1	2	3	Custo total com vigas	4	5	6	Custo total com pilares	Custo total com o piso
Terreno do tipo A	14.427,72 €	2.454,84 €	1.418,29 €	2.401,18 €	6.274,30 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	22.079,74 €
Terreno do tipo D	14.427,72 €	2.454,84 €	1.418,29 €	2.401,18 €	6.274,30 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	22.079,74 €
Bragança_terreno do tipo A	14.548,22 €	2.457,48 €	1.418,29 €	2.413,51 €	6.289,28 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	22.215,22 €
Bragança_terreno do tipo D	14.521,32 €	2.463,01 €	1.435,66 €	2.419,26 €	6.317,93 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	22.216,97 €
Coimbra_terreno do tipo A	14.548,22 €	2.457,48 €	1.418,29 €	2.413,51 €	6.289,28 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	22.215,22 €
Coimbra_terreno do tipo D	14.521,30 €	2.463,00 €	1.435,66 €	2.419,29 €	6.317,95 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	22.216,97 €
Santarém_terreno do tipo A	14.521,26 €	2.463,00 €	1.435,66 €	2.419,33 €	6.317,99 €	516,65 €	344,43 €	516,65 €	1.377,72 €	22.216,97 €
Santarém_terreno do tipo D	14.619,45 €	2.561,14 €	1.462,67 €	2.464,41 €	6.488,22 €	568,27 €	389,38 €	516,65 €	1.474,30 €	22.581,97 €
Lisboa_terreno do tipo A	14.593,43 €	2.454,52 €	1.439,59 €	2.439,42 €	6.333,54 €	551,90 €	375,73 €	516,65 €	1.444,28 €	22.371,25 €
Lisboa_terreno do tipo D	14.934,05 €	3.814,98 €	2.262,64 €	3.717,23 €	9.794,85 €	1.111,06 €	826,00 €	1.237,81 €	3.174,87 €	27.903,77 €
Lagos_terreno do tipo A	14.640,97 €	2.656,54 €	1.506,31 €	2.571,62 €	6.734,47 €	672,39 €	465,90 €	661,70 €	1.799,99 €	23.175,43 €
Lagos_terreno do tipo D	15.244,88 €	5.611,82 €	3.352,75 €	5.532,06 €	14.496,63 €	1.542,92 €	1.114,84 €	1.695,94 €	4.353,69 €	34.095,20 €

Estruturas (Laje de cobertura acessível)	Custo total com lajes	1	2	3	Custo total com vigas	4	5	6	Custo total com pilares	Custo total com o piso
Terreno do tipo A	14.543,77 €	2.458,97 €	1.421,51 €	2.374,22 €	6.254,69 €	583,34 €	439,21 €	516,65 €	1.539,19 €	22.337,65 €
Terreno do tipo D	14.543,77 €	2.458,97 €	1.421,51 €	2.374,22 €	6.254,69 €	583,34 €	439,21 €	516,65 €	1.539,19 €	22.337,65 €
Bragança_terreno do tipo A	14.551,23 €	2.461,26 €	1.421,51 €	2.375,30 €	6.258,07 €	583,34 €	439,21 €	516,65 €	1.539,19 €	22.348,49 €
Bragança_terreno do tipo D	14.594,67 €	2.463,03 €	1.421,51 €	2.380,46 €	6.265,00 €	583,34 €	439,21 €	516,65 €	1.539,19 €	22.398,86 €
Coimbra_terreno do tipo A	14.551,23 €	2.461,26 €	1.421,51 €	2.375,30 €	6.258,07 €	583,34 €	439,21 €	516,65 €	1.539,19 €	22.348,49 €
Coimbra_terreno do tipo D	14.590,51 €	2.463,03 €	1.421,51 €	2.380,46 €	6.265,00 €	583,34 €	439,21 €	516,65 €	1.539,19 €	22.394,70 €
Santarém_terreno do tipo A	14.585,49 €	2.463,03 €	1.421,51 €	2.380,46 €	6.265,00 €	583,34 €	439,21 €	516,65 €	1.539,19 €	22.389,68 €
Santarém_terreno do tipo D	14.706,47 €	2.463,03 €	1.433,83 €	2.387,30 €	6.284,16 €	610,87 €	437,91 €	516,65 €	1.565,43 €	22.556,06 €
Lisboa_terreno do tipo A	14.684,31 €	2.463,03 €	1.433,83 €	2.387,30 €	6.284,16 €	563,22 €	443,25 €	516,65 €	1.523,11 €	22.491,58 €
Lisboa_terreno do tipo D	14.661,47 €	3.499,11 €	2.099,05 €	3.452,78 €	9.050,94 €	980,78 €	614,20 €	1.060,47 €	2.655,44 €	26.367,85 €
Lagos_terreno do tipo A	14.715,91 €	2.452,06 €	1.435,66 €	2.391,80 €	6.279,53 €	605,86 €	445,95 €	583,20 €	1.635,02 €	22.630,45 €
Lagos_terreno do tipo D	15.398,73 €	5.283,95 €	3.204,83 €	5.257,86 €	13.746,64 €	1.322,18 €	930,17 €	1.395,33 €	3.647,68 €	32.793,05 €

Estruturas (Laje de cobertura dos acessos)	Custo total com lajes	1	2	3	Custo total com vigas	4	5	6	Custo total com pilares	Custo total com o piso
Terreno do tipo A	430,91 €	0,00 €	0,00 €	485,21 €	485,21 €	0,00 €	0,00 €	172,22 €	172,22 €	1.088,33 €
Terreno do tipo D	430,91 €	0,00 €	0,00 €	485,21 €	485,21 €	0,00 €	0,00 €	172,22 €	172,22 €	1.088,33 €
Bragança_terreno do tipo A	430,91 €	0,00 €	0,00 €	485,21 €	485,21 €	0,00 €	0,00 €	172,22 €	172,22 €	1.088,33 €
Bragança_terreno do tipo D	430,91 €	0,00 €	0,00 €	487,76 €	487,76 €	0,00 €	0,00 €	172,22 €	172,22 €	1.090,89 €
Coimbra_terreno do tipo A	430,91 €	0,00 €	0,00 €	485,21 €	485,21 €	0,00 €	0,00 €	172,22 €	172,22 €	1.088,33 €
Coimbra_terreno do tipo D	430,91 €	0,00 €	0,00 €	487,76 €	487,76 €	0,00 €	0,00 €	172,22 €	172,22 €	1.090,89 €
Santarém_terreno do tipo A	430,91 €	0,00 €	0,00 €	487,76 €	487,76 €	0,00 €	0,00 €	172,22 €	172,22 €	1.090,89 €
Santarém_terreno do tipo D	430,91 €	0,00 €	0,00 €	490,48 €	490,48 €	0,00 €	0,00 €	172,22 €	172,22 €	1.093,60 €
Lisboa_terreno do tipo A	431,24 €	0,00 €	0,00 €	490,48 €	490,48 €	0,00 €	0,00 €	172,22 €	172,22 €	1.093,93 €
Lisboa_terreno do tipo D	434,67 €	0,00 €	0,00 €	730,34 €	730,34 €	0,00 €	0,00 €	281,83 €	281,83 €	1.446,84 €
Lagos_terreno do tipo A	433,49 €	0,00 €	0,00 €	490,43 €	490,43 €	0,00 €	0,00 €	172,22 €	172,22 €	1.096,14 €
Lagos_terreno do tipo D	427,82 €	0,00 €	0,00 €	1.122,03 €	1.122,03 €	0,00 €	0,00 €	354,52 €	354,52 €	1.904,37 €



*Resultados dos custos totais por elemento estrutural:*

Estruturas	Custo total com fundações	Custo total com pilares	Custo total com vigas	Custo total com lajes	Custo total
Terreno do tipo A	11.114,70 €	10.166,56 €	44.417,40 €	101.434,50 €	167.133,16 €
Terreno do tipo D	14.431,49 €	10.166,56 €	44.417,40 €	101.434,50 €	170.449,95 €
Bragança_terreno do tipo A	11.114,70 €	10.300,62 €	44.665,10 €	103.282,15 €	169.362,57 €
Bragança_terreno do tipo D	16.252,17 €	10.300,57 €	46.090,66 €	103.555,90 €	176.199,30 €
Coimbra_terreno do tipo A	11.114,70 €	10.304,03 €	44.664,80 €	103.282,15 €	169.365,68 €
Coimbra_terreno do tipo D	16.252,17 €	10.300,62 €	46.089,47 €	103.551,72 €	176.193,97 €
Santarém_terreno do tipo A	11.115,13 €	10.300,62 €	45.745,20 €	103.468,84 €	170.629,79 €
Santarém_terreno do tipo D	16.254,82 €	11.551,82 €	49.398,89 €	103.542,50 €	180.748,04 €
Lisboa_terreno do tipo A	11.604,22 €	11.000,18 €	48.696,41 €	103.470,39 €	174.771,20 €
Lisboa_terreno do tipo D	41.292,10 €	28.922,05 €	88.809,05 €	108.882,34 €	267.905,54 €
Lagos_terreno do tipo A	14.353,01 €	16.885,09 €	55.265,32 €	106.906,55 €	193.409,96 €
Lagos_terreno do tipo D	67.972,29 €	38.677,00 €	132.031,68 €	105.961,99 €	344.642,96 €